



ИнтерКарто/ИнтерГИС

**ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ**

Материалы Международной конференции
Петрозаводск (Россия),
Бонн (Германия),
Анкоридж (США)
19 июля – 1 августа 2018 г.

Том 24

Часть 2

<http://intercarto.msu.ru>

Петрозаводск
2018



InterCarto/InterGIS

**GI SUPPORT OF SUSTAINABLE
DEVELOPMENT OF TERRITORIES**

Proceedings of the International Conference
Petrozavodsk (Russia),
Bonn (Germany),
Anchorage (USA)
July 19 – August 1, 2018

Volume 24

Part 2

<http://intercarto.msu.ru>

Petrozavodsk
2018



Конференция ИнтерКарто/ИнтерГИС
Conferencia InterCarto/InterSIG
InterCarto/InterGIS 会议

Материалы Международной конференции
Геоинформационное обеспечение
устойчивого развития территорий

الجغرافيا المكانية ونظم المعلومات الجغرافية

Conférence InterCarto/InterSIG

InterCarto/InterGIS Conference

Петрозаводск (Россия),
Бонн (Германия),
Анкоридж (США)

19 июля – 1 августа 2018 г.

Petrozavodsk (Russia),
Bonn (Germany),
Anchorage (USA)

July 19 – August 1, 2018

24
Part 2

Proceedings of the International Conference
GI support of sustainable
development of territories

Организаторы:

*Международная картографическая ассоциация (МКА),
Международная академия наук Евразии,
Центр мировой системы данных по географии ICSU-WDS,
Русское географическое общество,
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ),
Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр
Российской академии наук» (КарНЦ РАН)*

И 732 ИнтерКарто/ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий:
Материалы Междунар. конф. – Т. 24, ч. 2. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. – 415 с.

Сборник включает материалы, представленные на Международную конференцию ИнтерКарто/ИнтерГИС 24. В статьях рассматриваются теоретические и методические аспекты геоинформационного обеспечения экологических, экономических и социальных составляющих устойчивого развития, вопросы развития геоинформатики, картографии, дистанционного зондирования Земли, проблемы экологической устойчивости и оценки воздействия на окружающую среду. Также рассматриваются возможности геоинформационного картографирования биоразнообразия и охраны природы, разработки мобильных ГИС, создания виртуальных географических сред и опыт их применения. Сборник выпускается один раз в год начиная с 1994 г.

Главный редактор: **В.С. Тихунов** (МГУ, председатель комиссии «Геоинформатика для устойчивого развития» МКА)

Ответственный редактор: **М.В. Грибок** (МГУ)

Редакционная коллегия: **О.Е. Архипова** (Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону), **П.Я. Бакланов** (Тихоокеанский ин-т географии РАН, Владивосток), **В.С. Белозёров** (Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь), **С.Н. Бобылёв** (МГУ), **Ф. Буийе** (член комиссии «Геоинформатика для устойчивого развития» МКА, Франция), **Вей Донг Цун** (Нац. исслед. центр инженерии и геоматики, Китай), **Г. Гиенко** (Ун-т Аляски, США), **М. Говоров** (Университетский Колледж Маласпина, Канада), **С. Горин** (Ун-т Св. Кирилла и Мефодия, Македония), **Н. Караниколае** (Ун-т Аристотеля, Греция), **Е.Г. Капралов** (Санкт-Петербургский государственный университет), **Т. Кольчугина** (Корпорация технологий устойчивого развития, США), **А.В. Кошкарёв** (Институт географии РАН), **Х. Кремере** (заместитель председателя комиссии «Геоинформатика для устойчивого развития» МКА, Германия), **А. Курбан** (Синцзянский ин-т экологии и географии, Китай), **Х. Линь** (Китайский ун-т Гоуангига), **Д.В. Лисицкий** (Сибирский государственный ун-т геосистем и технологий, Новосибирск), **И.К. Лурье** (МГУ), **Ф. Де Мейер** (Гентский ун-т, Бельгия), **В.А. Мелкий** (Сахалинский государственный ун-т, Южно-Сахалинск), **М.В. Нырцов** (МГУ), **Г. Нямдава** (Министерство окружающей среды, зеленого развития и туризма, Монголия), **Ф. Ормелинг** (Ун-т Утрехта, Нидерланды), **А.В. Погорелов** (Кубанский государственный ун-т, Краснодар), **С.В. Пьянков** (Пермский государственный ун-т), **И.Н. Роганова** (Алтайский государственный ун-т, Барнаул), **Н. Улуттекин** (Стамбульский технический ун-т, Турция), **Н.Н. Филатов** (Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск), **М.-И. Фрейтас** (Гос. ун-т Сан-Паулу, Бразилия), **А.Н. Чумаченко** (Саратовский государственный ун-т).

При цитировании просим использовать точное наименование сборника.

Образцы цитирования:

Ivanov A.B., Petrov A.B. Title of the article. InterCarto/InterGIS. Proceedings of the International Conference. Petrozavodsk: KRC RAS, 2018, Vol. 24, part 2, pp. 110–120, DOI: 10.24057/2414-9179-2018-1-24-110-120 (для цитирования на английском языке).

Иванов И.О., Петров И.О. Название статьи // ИнтерКарто/ИнтерГИС. Материалы Междунар. конф. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. – Т. 24, ч. 2. – С. 110–120, DOI: 10.24057/2414-9179-2018-1-24-110-120 (для цитирования на русском языке).

Адрес редакции: Лаборатория комплексного картографирования географического факультета МГУ, 119991, Москва, Ленинские горы, 1, комн. 2209, тел.: +7(495)939-23-54, e-mail: intercarto@yandex.ru
Интернет-сайт: intercarto.msu.ru

Издание осуществлено за счет гранта РФФИ № 18-05-20048

Organized by:

*International Cartographic Association (ICA),
International Eurasian Academy of Sciences,
World Data Center for Geography ICSU-WDS,
Russian Geographical Society,
M.V. Lomonosov Moscow State University (MSU),
Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences (KRC RAS)*

InterCarto/InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International Conference. Vol. 24, part 2. Petrozavodsk: KRC RAS, 2018. 415 p.

The Proceedings include papers presented at the InterCarto/InterGIS 24 International Conference that discuss theoretical and methodical aspects of GIS support of environmental, economic and social components of sustainable development, development of geoinformatics, cartography, remote sensing, environmental sustainability and evaluation of the impact on the environment. Also discusses the possibilities of biodiversity and nature protection mapping, development of mobile GIS, the creation of virtual geographic environments and the experience of their application. The Proceedings have been published once per year since 1994.

Editor-in-Chief: **V. Tikunov** (MSU, Chairman of ICA Commission GI for Sustainability)

Managing Editor: **M. Gribok** (MSU)

Editorial Board: **O. Arkhipova** (Southern Scientific Center of Russian Academy of Sciences (RAS), Rostov-on-Don), **P. Baklanov** (Pacific Institute of Geography RAS, Vladivostok), **V. Belozorov** (North-Caucasus Federal University, Stavropol), **S. Bobilyov** (MSU), **F. Bouillé** (Member of ICA Commission GI for Sustainability, France), **A. Chumachenko** (Saratov State University), **Cui Weihong** (National Engineering Research Center for Geomatics of China), **N. Filatov** (Institute of Water Problems of the North of KRS RAS, Petrozavodsk), **M.I. Freitas** (UNESP Universidade Estadual Paulista, Brazil), **G. Gienko** (University of Alaska, USA), **S. Gorin** (St. Cyril and Methodius University, Macedonia), **M. Govorov** (Malaspina University College, Canada), **Hui Lin** (Chinese University of Hong Kong), **N. Karanikolas** (Aristotle University of Thessaloniki, Greece), **E. Kapralov** (St. Petersburg State University), **T. Kolchugina** (Sustainable Development Technology Corporation, USA), **A. Koshkaryov** (Institute of Geography RAS, Moscow), **H. Kremers** (Deputy Chairman of ICA Commission GI for Sustainability, Germany), **A. Kurban** (Xinjiang Institute of Ecology and Geography, China), **D. Lisitsky** (Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk), **I. Lourie** (MSU), **Ph. De Maeyer** (Ghent University, Belgium), **V. Melkiy** (Sakhalin State University), **G. Nyamdavaa** (Ministry of Environment, Green Development and Tourism, Mongolia), **M. Nyrtsov** (MSU), **F. Ormeling** (Utrecht University, Netherlands), **A. Pogorelov** (Kuban State University, Krasnodar), **S. Pyankov** (Perm State University), **I. Rotanova** (Altai State University, Barnaul), **N. Ulugtekin** (Istanbul Technical University, Turkey).

Please use the exact name of the Proceedings for citations.

Citation example:

Ivanov A.B., Petrov A.B. Title of the article, InterCarto/InterGIS. Proceedings of the International Conference. Petrozavodsk: KRC RAS, 2018, Vol. 24, part 2, pp. 110–120, DOI: 10.24057/2414-9179-2018-1-24-110-120.

Editorial Office:

Complex Mapping Laboratory, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University;
119991, Russia, Moscow, Leninskie Gory 1, of. 2209; tel.: +7(495)939-23-54; e-mail: intercarto@yandex.ru
Website: intercarto.msu.ru

The publication realized by the grant from the Russian Foundation for Basic Research No 18-05-20048

<i>Шеремецкая Е.Д., Иванов М.М., Ворошилов Е.В., Гаранкина Е.В., Беляев В.Р.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ КРУПНОМАСШТАБНОЙ АЭРОФОТОСЪЕМКИ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ В ЦЕЛЯХ ИЗУЧЕНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	158
<i>Шумилов И.В., Минервин И.Г., Пищальник В.М., Терентьев Н.С.</i> РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ КРОМОК ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ	171
<i>Кислякова Н.А., Варфоломеев А.Ф., Манухов В.Ф.</i> ИЗУЧЕНИЕ ОЧАГОВ ПОЖАРОВ И ГАРЕЙ В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ	178
<i>Коросов А.В., Платонова Е.А.</i> ВЫЯВЛЕНИЕ ФИТОХОР С ОБУЧЕНИЕМ НА СМЕШАННЫХ ПОЛЕВЫХ И КОСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ (НА ПРИМЕРЕ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ БОТАНИЧЕСКОГО САДА ПетрГУ)	186
<i>Гостева А.А., Матушко А.К., Якубайлик О.Э.</i> ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ В ИЗУЧЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ В ГОРОДАХ (НА ПРИМЕРЕ г. КРАСНОЯРСКА, РОССИЯ)	195
<i>Китов А.Д., Гладков А.С., Лунина О.В., Плюснин В.М., Иванов Е.Н., Серебряков Е.В., Афонькин А.М.</i> ГЕОРАДАРНЫЙ И ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ЛЕДНИКОВ ХРЕБТА МУНЦУ САВЛИК (ВОСТОЧНЫЙ САЯН)	206

УДК: 9.91.910.2

Шеремяцкая Е.Д.¹, Иванов М.М.², Ворошилов Е.В.³, Гаранкина Е.В.⁴, Беляев В.Р.⁵

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ КРУПНОМАСШТАБНОЙ
АЭРОФОТОСЪЕМКИ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ
В ЦЕЛЯХ ИЗУЧЕНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ
ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

АННОТАЦИЯ

Скоротечные преобразования дневной поверхности и рыхлых четвертичных отложений не находят своевременного отклика в открытых картографических источниках – крупномасштабных топографических картах, данных дистанционного зондирования высокого разрешения. В этой связи актуальность приобретает использование современных технологий анализа пространственных данных, получаемых при помощи беспилотных летательных аппаратов. Благодаря своей мобильности и дешевизне эксплуатации они имеют широкие перспективы использования в системных геоморфологических исследованиях и мониторинге экстремальных процессов на этапах обнаружения и наблюдения как за собственно процессом в действии, так и за последствиями его проявления. Исследован участок интенсивной трансформации селевыми процессами, в том числе типичными грязекаменными селями и более специфичными водоснежными потоками, днища горной долины р. Сенгисйоок, прорезающей западный склон Ловозерских тундр (Кольский п-ов, северо-западная территория России). Выполнена аэрофотосъемка беспилотным летательным аппаратом вертолетного типа с ручной системой управления DJI Phantom 3 Standard, построены и проанализированы ортофотоплан, ЦМР и их результирующие (схемы геоморфологического дешифрирования, продольные и поперечные профили современного вреза долины и русла Сенгисйоок). На примере ключевого участка показана возможность крупномасштабного одновременного наблюдения за плановыми очертаниями сложно взаимосвязанных форм рельефа различного генезиса, определения их линейных и площадных параметров, объемов переработки рыхлого материала. По итогам работ предложены принципиальная схема и последовательность действий при изучении быстро меняющихся геоморфологических объектов с применением беспилотной аэрофотосъемки, не только для интересов фундаментальной науки, но с целью их мониторинга и прогнозирования для обеспечения безопасности человека и хозяйственных объектов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: беспилотные летательные аппараты, крупномасштабное картографирование, экстремальные геоморфологические процессы, сели, Ловозерские тундры.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, каф. геоморфологии и палеогеографии, Ленинские горы, ГСП-1, 119991, Москва, Россия, e-mail: sheremetskaya@gmail.com

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, Ленинские горы, ГСП-1, 119991, Москва, Россия, e-mail: ivanovm@bk.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии, Ленинские горы, ГСП-1, 119991, Москва, Россия, e-mail: voroshilov@yahoo.com

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии, Ленинские горы, ГСП-1, 119991, Москва, Россия e-mail: evgarankina@gmail.com

⁵ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, Ленинские горы, ГСП-1, 119991, Москва, Россия, e-mail: vladimir.r.belyaev@gmail.com

Elena D. Sheremetskaya¹, Maxim M. Ivanov², Egor V. Voroshilov³,
Ekaterina V. Garankina⁴, Vladimir R. Belyaev⁵

USING UAV LARGE-SCALE AERIAL PHOTOGRAPHY FOR STUDYING HAZARDOUS GEOMORPHOLOGICAL PROCESSES

ABSTRACT

Short-term transformations of actual topography and Quaternary deposits do not opportunely reflect in the open cartographic sources – on small-scale topographic maps and high-resolution remote sensing data. Thereby, the use of modern technologies for analysis of the spatial data obtained with unmanned aerial vehicles (UAVs) becomes quite relevant. High mobility and relatively cheap exploration determine broad perspective using UAVs data in regular geomorphological studies. It is also applicable in monitoring extreme and hazardous phenomena on either stages of detecting or observing the process itself and interpreting its consequences. Case study site of the Sengisjok River Valley bottom intensively transformed by debris flow processes including typical granular debris flows and specific slushflows was investigated. The mountain valley incises the Western slope of the Lovozerskiye Tundry massif at the Kola Peninsula, Northwestern Russia. Aerial photography survey was accomplished using the unmanned aerial vehicle (helicopter type) DJI Phantom 3 Standard controlled by human operator. Orthoimage mosaics, DEM and its derivatives (geomorphic interpretation, longitudinal and cross-section profiles of the modern valley and riverbed incisions of the Sengisjok River) were retrieved and analyzed. Linear and spatial parameters and dynamics of landforms with complexly arranged outlines and of different genetic types and volumes of reworked deposits were determined. The potential of immediate small-scale observations obtained by UAV was evaluated on the example of the case study site. As a result, a basic setup and implied algorithms for studying rapidly changing geomorphic units using unmanned aerial photography was proposed. It shows potential as for the fundamental scientific purposes as for monitoring and predicting hazardous process to ensure social awareness and infrastructure safety.

KEYWORDS: Unmanned Aerial Vehicles, small-scale cartography, hazardous geomorphological processes, debris flow, Lovozerskiye Mountains.

ВВЕДЕНИЕ

Экстремальные геоморфологические процессы – современные быстротекущие процессы, возникающие вследствие значительных отклонений среднесуточных характеристик, влияющих на них внешних и внутренних факторов окружающей среды (собственно геолого-геоморфологических, климатических, гидрологических, антропогенных и пр.). В условиях контрастного горного рельефа степень готовности геоморфологических систем выйти из состояния равновесия увеличивается. Такие процессы как обвалы, оползни, снежные лавины и водоснежные потоки приобретают высокую интенсивность, приводя к значительному и зачастую

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Paleogeography, Leninskie gory, GSP-1, 119991, Moscow, Russia, e-mail: sheremetskaya@gmail.com

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, The Makkaveev laboratory of soil erosion and fluvial processes, Leninskie gory, GSP-1, 119991, Moscow, Russia, e-mail: ivanov@bk.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Paleogeography, Leninskie gory, GSP-1, 119991, Moscow, Russia, e-mail: voroshilov@yahoo.com

⁴ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Paleogeography, Leninskie gory, GSP-1, 119991, Moscow, Russia, e-mail: evgarankina@gmail.com

⁵ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, The Makkaveev laboratory of soil erosion and fluvial processes, Leninskie gory, GSP-1, 119991, Moscow, Russia, e-mail: vladimir.r.belyaev@gmail.com

единовременному преобразованию рельефа, поверхностных и приповерхностных отложений. К подобным «стихийным бедствиям», безусловно, следует относить и сели – русловые грязекаменные потоки высокой интенсивности. Они «внезапно» возникают в горных речных бассейнах при превышении пороговых значений гидрогеологических элементов – интенсивности снеготаяния, ливневых осадков, либо провоцирующих процессов иного генезиса (обвалы и лавины в акватории подпрудных озер). Характеризуются пульсационным движением, кратковременной активностью и высокими значениями своих параметров – содержанием обломочного материала до 75 %, глубиной потока более 10–20 м, скоростью более 10 м/с, объемом выноса рыхлого материала более 0,6–6 млн м³.

Ловозерский горный массив не является исключением, относясь к регионам развития климатически обусловленных селевых явлений средней активности, снегового и дождевого (с преобладанием снегового) типа Кольской области, холодной зоны [Национальный атлас..., 2004; Романенко и др., 2011, Perov et al., 2017]. Селевой период здесь продолжается с мая по август, период наибольшей опасности, как правило, приходится на май-июнь.

Скоротечные преобразования дневной поверхности и рыхлых четвертичных отложений не находят своевременного отклика в открытых картографических источниках – крупномасштабных топографических картах, данных дистанционного зондирования высокого разрешения. В этой связи актуальность приобретает использование современных технологий анализа пространственных данных, получаемых при помощи беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Благодаря своей мобильности и дешевизне эксплуатации они имеют высокие перспективы использования в системных исследованиях и мониторинге экстремальных геоморфологических процессов на этапах обнаружения и наблюдения как за собственно процессом в действии, так и за последствиями его проявления (зонами формирования, потенциального поражения, преобразования на протяжении временных отрезков различной длительности), а также в целях прогнозирования [Грядунев и др., 2012; Медведев и др., 2016; Piras et al., 2017].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые наблюдения

Долина р. Сенгисйок приурочена к западной окраине Ловозёрского горного массива (рис. 1) – магматической островной системе в области относительных новейших поднятий со скоростями $+4...+6 \pm 1$ мм/год [Пожиленко и др., 2002]. В морфоскульптурном отношении горы относятся к областям развития экзарационно-нивальных и аккумулятивных форм горных оледенений, расчлененных наложенной эрозионной сетью.

Долина протягивается с восток-северо-востока на запад-юго-запад между плато Ангувдасчорр на севере и Сенгисчорр на юге. Общая длина долины около 8,0 км, в том числе горной части около 5,0 км. На расстоянии 3,5 км от истока сформирован тектонически обусловленный субмеридиональный отрезок длиной не многим более 1,0 км. Река берет начало в каровом оз. Сенгисъявр (726 м над уровнем моря) и впадает в Умбозеро на высоте 152 м над уровнем моря. Общий перепад высот от истока к устью достигает 575 м, врез долины относительно вершинных частей прилегающих горных массивов достигает более 200 м.

На протяжении первого километра Сенгисйок течет по днищу ледникового цирка размером $1 \times 0,5$ км, со средним уклоном 0,014 и хаотичным моренно-грядовым рельефом. Ниже современный врез вложен в троговую долину, с осложняющим ее хаотичным грядово-ложбинным рельефом неравномерной аккумуляции горного оледенения и разновозрастными селевыми террасами и грядами. На бортах долины фиксируются скальные уступы изначально тектонического происхождения, проработанные экзарационными процессами, высотой до 10 м, участки осыпных склонов высотой более 40 м, обвалованные русла и тела микроселей, блоки отседания. Эрозионно-аккумулятивное днище долины

на этом отрезке сложноустроенное, четковидное, с продольным уклоном от 0,08 до 0,1. Русло местами разбивается на множество рукавов (в том числе сухих), осложнено островами, валами высотой до 3,0 м и зонами локальной селевой аккумуляции веерообразной в плане и грядово-ложбинной в профиле формы. Приустьевой, равнинный отрезок долины, протяженностью около 3,0 км и продольным уклоном в среднем 0,06, характеризуется сменой участков рельефа разного генезиса. От уреза Умбозера последовательно сменяют друг друга озерная терраса (162,0–166,0 м над уровнем моря), останцы моренной равнины покровного оледенения (181,0–186,0 м над уровнем моря) и наложенная на них пролювиальная равнина, созданная слившимися конусами выноса рек Сенгисйок и Ангуайок.



Рис. 1. Положение участка съемки БПЛА в Ловозёрских тундрах
Fig. 1. Study area at the Lovozerskiye Mountains

В геологическом отношении район исследований приурочен к контакту Ловозёрской щелочной интрузии и вмещающего ее комплекса раннеархейских интрузий [Пожиленко и др., 2002]. В долине Сенгисйока развиты флювиогляциальные и ледниковые отложения горного и покровного оледенений мощностью 30–35 м (определение по выраженному в современном рельефе врезу долин) [Беляев и др., 2010]. Селевые накопления отмечены как в современном днище, так и слагают вложенные в ледниковые толщии террасы высотой до 15–25 м над руслом. Источником материала для них служили как накопленные ранее моренные образования, так и обломки с прилегающих горных склонов. В нижнем течении река врезается в такие сцементированные селевые отложения до подстилающих коренных пород, затем распыластаясь на мощном пролювиальном конусе.

Основные современные геоморфологические процессы – курумообразование в комплексе с солифлюкцией, крипом, обвалами и осыпями, селями, лавинами и гравитационным отседанием склонов. Среди опасных явлений западной части Ловозёрского

массива выделяются водоснежные потоки [Водоснежные потоки..., 2001] и катастрофические паводки, сходящие из верхних частей долин рек и их притоков. Экстремальные селевые процессы выносят из верховий Сенгисйока большие объемы крупных обломков в пологие предгорья Ловозёр и на прилегающую ледниковую равнину. Характерные и для соседних долин древние селевые потоки, будучи переполнены наносами, широко разливались по этим выположенным поверхностям, формируя как отдельные конусы выноса, так и подгорную пролювиальную равнину.

Последний экстремальный селевой паводок наблюдался в низовьях долины Сенгисйока 3 июля 2017 г. В течение 40 минут вода заполнила ранее сухие протоки, затопила днище долины и часть прилегающей пролювиальной равнины. Поток разлился полосой шириной около 800–1000 м выше подирудившей его насыпи железной дороги Ревда – Октябрьский, и на 50–100 м ниже ее. На реке образовывались плотины из снега, выносимого из верховьев, и крупных стволов деревьев. В течение часа после начала паводка поступление снега прекратилось. Часть стока перенаправилась через бывшее сухое русло в ручей к северу от Сенгисйока.

Дистанционное воздушное зондирование

6 сентября 2017 г. проведена аэрофотосъемка четырех участков наиболее интенсивной июльской трансформации днища долины Сенгисйока с помощью беспилотного летательного аппарата вертолетного типа с ручной системой управления DJI Phantom 3 Standard [http://www.dji.com/phantom-3-standard/]. Управление осуществлялось в режиме дистанционного пилотирования при помощи пульта и подключенного цифрового устройства, оснащенного модулем Wi-Fi, операционной системой Android и приложением DJI Go. В беспилотную авиационную систему включены: интегрированная навигационная система; приемник спутниковой навигационной системы (GPS); накопитель полетной информации (карта памяти формата MicroSD); цифровая фото-видеокамера GoProPanasonic модель FC300C с системой стабилизации изображения. Фокусное расстояние составляет 3,61 мм (20 мм в 35-мм эквиваленте), угол обзора 94°, максимальный размер изображения 4000 × 3000, размер пикселя 1,56 × 1,56 мкм. Камера не требует калибровки.

С целью изучения активных проявлений селевого процесса был выбран верхний по течению участок трансформации долины в 2,70 км ниже истока Сенгисйока (см. рис. 1). Выполнен один залет со средней высотой съемки 107 м от точки взлета. Съемка велась в надр (под прямым углом к поверхности), перспективная съемка не производилась. Суммарное количество фотоснимков составило 26 шт. (рис. 2), продольное перекрытие достигает примерно 90–95 %. Общая площадь покрытия исследуемой территории – 45 200 м².

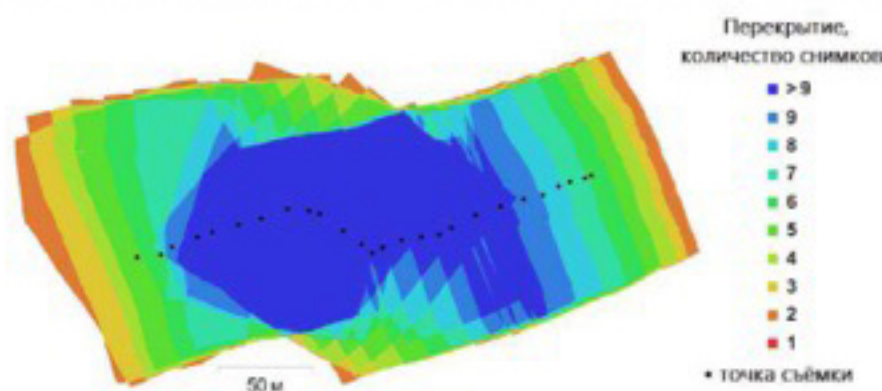


Рис. 2. Схема перекрытия аэрофотоснимков при съемке БПЛА участка долины р. Сенгисйок 06.09.2017

Fig. 2. Camera locations and image overlaps. Investigated section of the Sengisiok River Valley. 06.09.2017

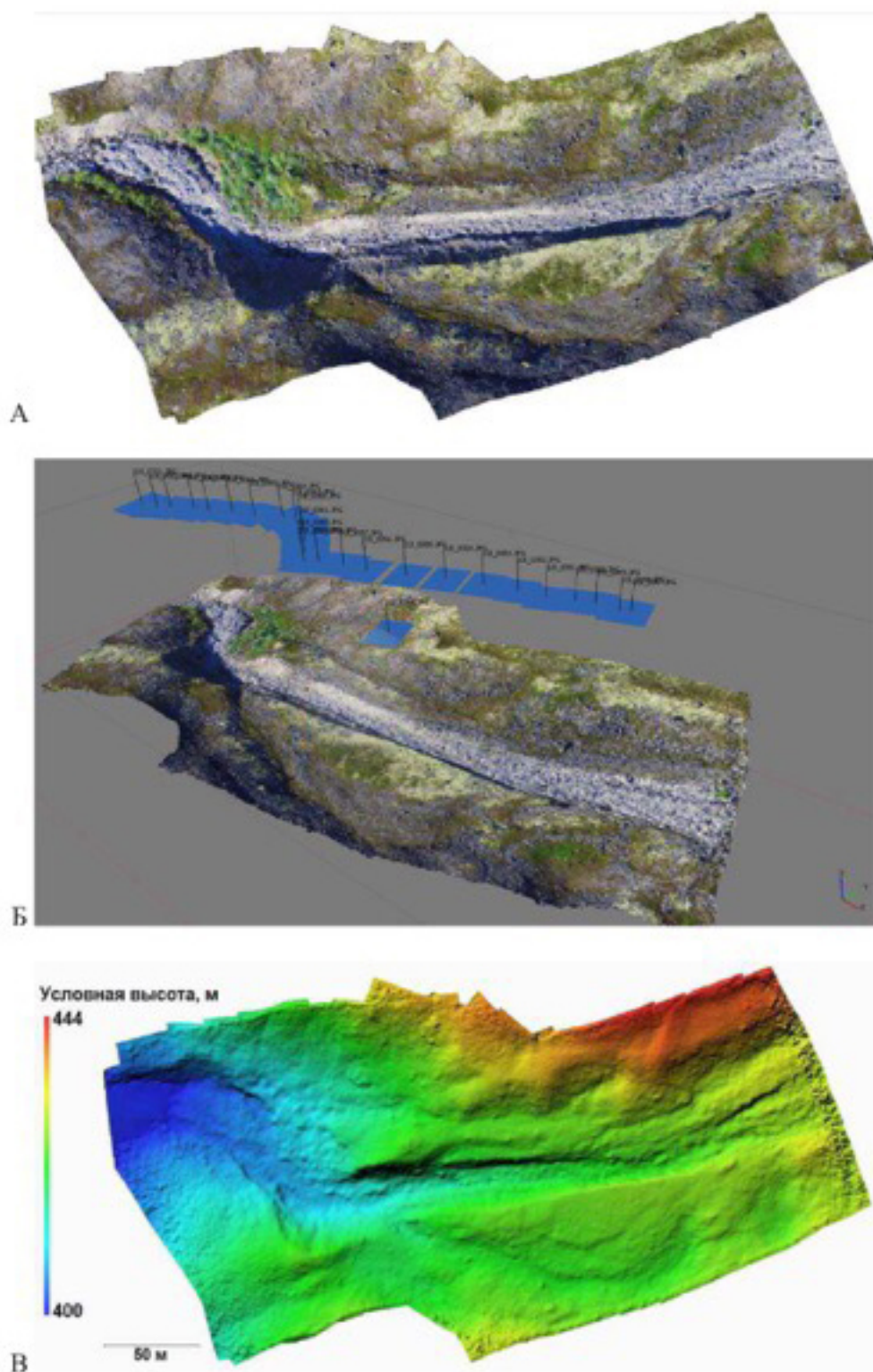


Рис. 3. Отдельные этапы технологического процесса обработки данных БПЛА:
 А – ортофотоплан изученного участка долины р. Сенгисйок; Б – плотное облако точек,
 полученное при автоматической интерполяции в программе Agisoft Photoscan 1.4.1.
 (перспективный вид); В – Цифровая модель рельефа

Fig. 3. Technological stages of UAV data processing:
 A – orthoimage mosaics of the case study section of the Sengisjokvalley; Б – dense point cloud obtained
 by automatic interpolation in AgisoftPhotoscan 1.4.1. (perspectiveview); B – digitalelevation model

Для обработки материалов аэрофотосъемки и создания картографической продукции (ортофотоплан, цифровая модель рельефа и их производные) использовалась программа Agisoft Photoscan 1.4.1. Технологический процесс включал в себя (рис. 3): а) выбор аэрофотоснимков, их загрузку в программу; б) обработку аэрофотоснимков (определение их пространственных координат (широта и долгота в системе координат WGS84, высота), выравнивание (автоматическая обработка, в результате которой угол съемки соответствует положению в надир), определение реперных точек); в) построение плотного облака точек (15,77 на 1 м²; с ошибкой репроецирования 0,979 пикс.); г) создание ЦМР (в растровой форме, в формате GeoTIFF), ортофотоплана (пространственное разрешение 3,42 см / пикс.), карты изогипс, геопривязанной 3-D модели; д) дальнейший анализ полученных материалов (построение продольных и поперечных топографических профилей, геоморфологическое дешифрирование ортофотоплана, расчет объемов современного вреза долины Сенгисйока и пр.).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ортофотопланы – один из главных продуктов, получаемых на выходе из цифровых фотограмметрических систем. Целесообразность их построения объясняется высокой детальностью, возможностью оперативного выявления пространственного распространения форм рельефа (в том числе и вновь образованных «свежих»), пригодностью для геоморфологического дешифрирования. А также для создания результирующей картографической продукции (карт крутизны и кривизны поверхности, экспозиции, топографических профилей и др.), для дальнейшего создания общих и специальных геоморфологических карт, мониторинга и прогнозирования экстремальных геоморфологических процессов.

На ортофотоплане исследуемого участка долины Сенгисйока четко читаются несколько уровней рельефа. Практически сухое на момент съемки русло заполнено свежими и более древними селевыми наносами с характерным хаотичным (на транзитном участке) либо ложбинно-грядовым (в зонах локального торможения на повороте) микрорельефом. По обоим берегам от основного русла, в шахматном порядке располагаются террасовидные разновысотные поверхности, не затронутые июльским паводком, о чем свидетельствует сохранение на них растительного покрова (рис. 4). Террасы имеют преимущественно селевое происхождение и сложены плохо сортированной толщей грубообломочных осадков, изредка с озерными отложениями в цоколе. По левому борту на поверхности такой селевой террасы проходит ложбина, выстланная крупнообломочным материалом, местами покрытым тундровой растительностью. Она «впадает» в основное русло Сенгисйока всячим устьем и, расширяясь, вновь «вытекает» из него в юго-западном направлении. Таким образом, это элемент возвышенного древнего (ныне не активного) селевого днища долины. Более низкая и лучше заросшая (кустарниковой растительностью) селевая терраска по правому борту демонстрирует мелкогрядовый рельеф, субпараллельный современному руслу (веерообразно расходящийся от основной протоки).

С правого борта довольно четко прослеживается пологий ступенчатый эрозионный склон более древнего высотного уровня ледникового днища долины. Он перекрыт рыхлыми отложениями и частично занят растительностью. Для нижнего по течению участка характерно расширение современного вреза за счет более интенсивного бокового врезания на локальном повороте русла и зоны вынужденной селевой аккумуляции. Левый нижний край ортофотоплана захватывает участок ледниковой аккумуляции, фиксирующий высотное положение днища троговой долины, частично преобразованного селевыми и вероятно флювиогляциальными процессами.

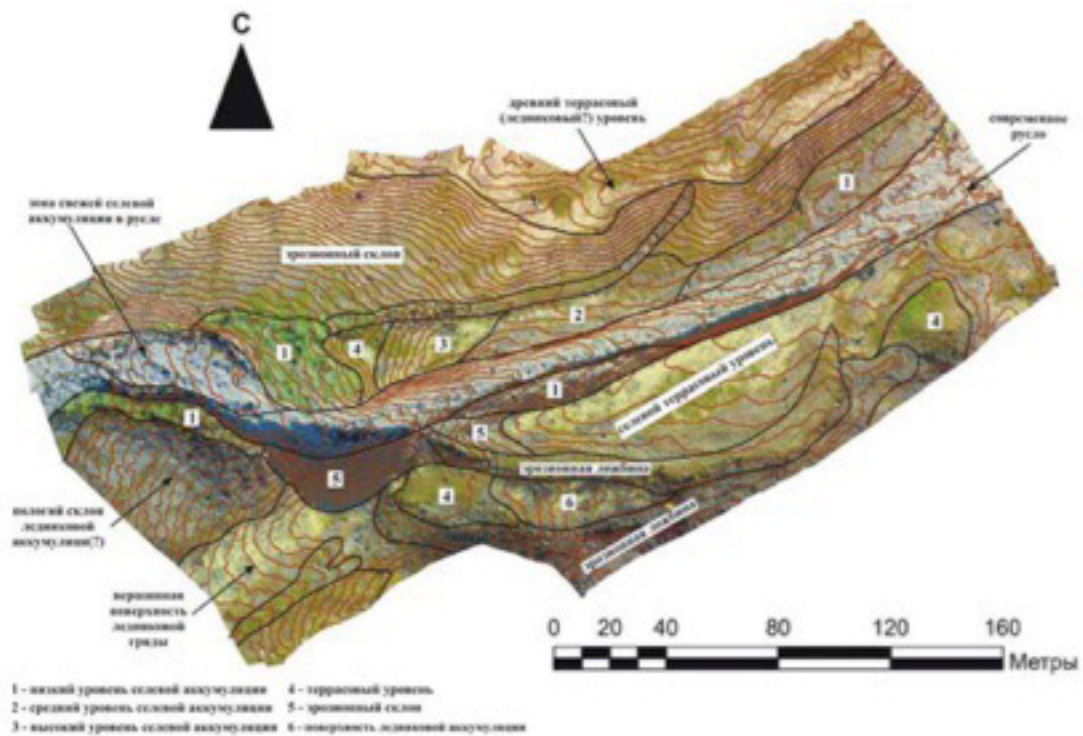


Рис. 4. Схема геоморфологического дешифрирования данных съемки БПЛА участка долины р. Сенгисйок – ортофотоплан с изогипсами (сечение 1 м)
Fig. 4. Geomorphologic interpretation of UAV data at the case study section of the Sengisjok valley – orthoimage mosaics with isohypes (vertical interval 1 m)

Цифровые модели рельефа служат хорошей основой для построения топографических профилей, отражающих детальное строение и изменение во времени и пространстве поперечных и продольных профилей дна долин, находящихся в стадии современного перестроения. Так, активный в июле 2017 г. врез Сенгисйока имеет ширину по бровкам до 20–25 м (рис. 5, Б–Д), глубину до 3–4 м. Его днище в целом ящикообразное, с участками неравномерной аккумуляции селевого материала. При этом необходимо учитывать, что штатная навигационная система БПЛА обладает невысокой точностью, следовательно, картина распределения высот является относительной и нуждается в корректировке независимыми методами. Однако она оказывается вполне пригодной для целей геоморфологического дешифрирования и определения основных морфологических и морфометрических параметров форм рельефа, по крайней мере, на начальных стадиях изучения горных объектов.

Для интерпретации результатов современных рельефообразующих процессов и дальнейшей организации мониторинга их интенсивности в русле Сенгисйока проведена оценка объемов его современного вреза. Она основывалась на сопоставлении актуальной ЦМР и ее обработанного варианта со сглаженным (исключенным из ЦМР) врезом. Сглаживание производилось следующим путем. Плановые границы оцениваемого вреза были дешифрированы по ортофотоплану и получены в виде масок в файле формата *.shp. Затем по полученной маске из имеющейся ЦМР вырезалась часть растра, а весь растр конвертировался в массив точек, из которого затем снова строилась поверхность ЦМР при помощи модуля *Toro to Raster*. Таким образом, образованная после вырезания лакуна заполнялась. В результате получена сглаженная ЦМР без вреза. Далее из нее вычиталась исходная ЦМР и опять обрезалась по маске изучаемого вреза.

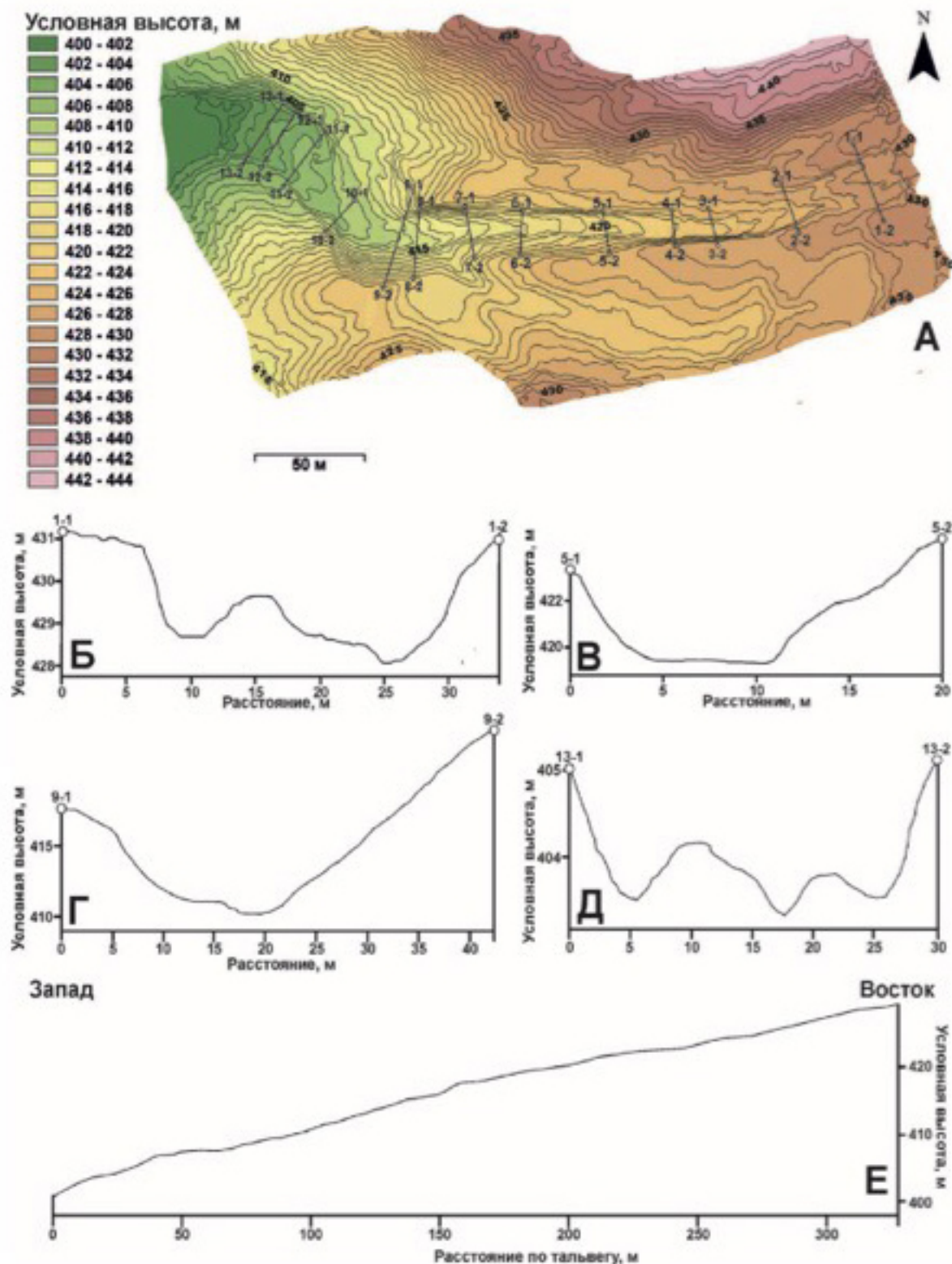


Рис. 5. Результаты обработки ЦМР участка долины р. Сенгисйок:

А – карта в изолиниях (сечение 1 м); Б–Д – поперечные профили современного вреза долины;

Е – продольный профиль русла

Fig. 5. Results of digital elevation model processing for the Sengisjok valley case study section:

A – map in isohypes (vertical intervall m); Б–Д – cross-sections of the modern incision;

Е – longitudinal profile of the channel bed

Полученное растровое изображение представляет собой фактически распределение предполагаемой глубины вреза в пределах интересующей области (рис. 6). Исходя из площади (6641 м^2) и средней глубины вреза ($0,95 \text{ м}$) (разности между растрами), был определен его объем, равный 6803 м^3 .

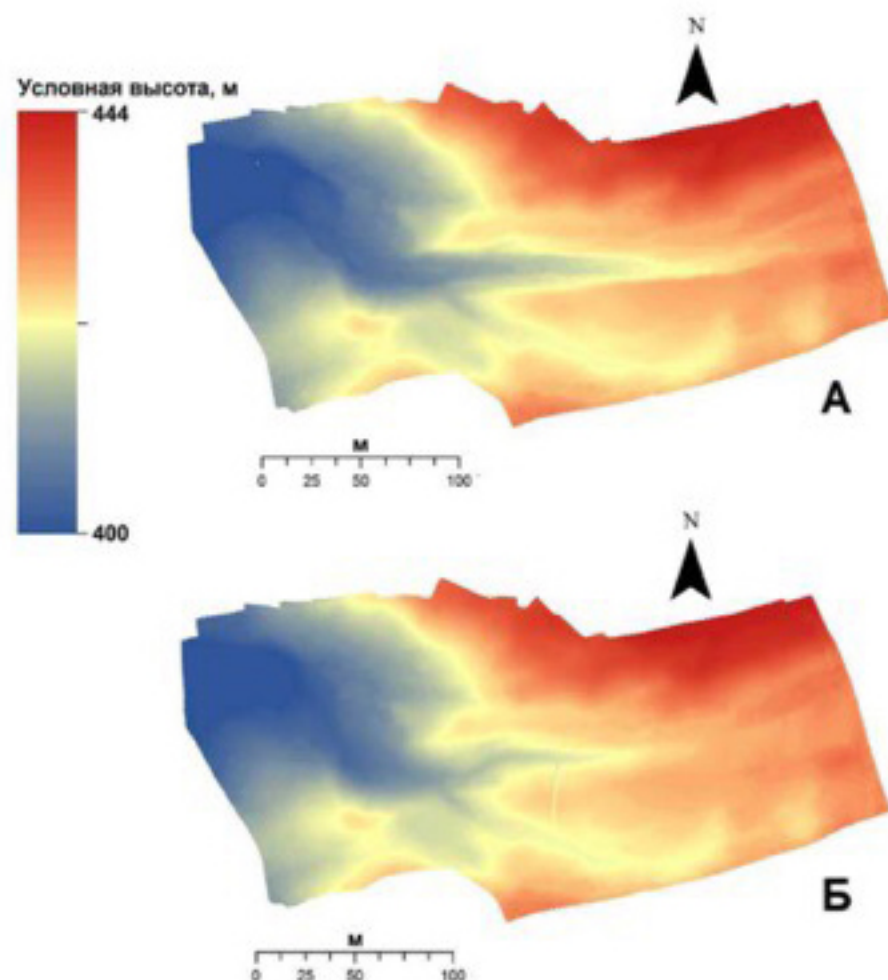


Рис. 6. Графическое отражение этапов определения объемов современного вреза долины р. Сенгисйок:

А – исходная цифровая модель рельефа; Б – сглаженная модель

Fig. 6. Graphic setup of volume determination stages for the modern Sengisjok River incision:

A – initial DEM; B – smoothed DEM

ВЫВОДЫ

Днище долины р. Сенгисйок в западной части Ловозёрского горного массива представляет собой арену активной трансформации рельефа водоснежными потоками и селевыми процессами. Последняя подобная трансформация произошла 3 июля 2017 г. Для получения общей картины сложного строения дневной поверхности, плановых очертаний и характера сочленений отдельных форм рельефа, а также максимально полной фиксации произошедших изменений, недостижимых при традиционном маршрутном обследовании, 6 сентября 2017 г. была проведена аэрофотосъемка беспилотным летальным аппаратом DJI Phantom 3 Standard. Полученные в ходе обработки мозаики изображений ортофотоплан

и цифровая модель рельефа позволяют на основе внешних признаков (наличие или отсутствие растительного покрова, фототон, геометрия и пр.) определить плановые очертания современного активного русла, разновысотных террасовидных уровней, склонов. В результате, объединив полученные сведения с данными традиционных полевых исследований и анализом литературных материалов, оказывается возможным получить детальную картину геоморфологического строения территории, в том числе относительные морфометрические параметры.

Ввиду высокой детальности полученного изображения возможно отслеживание не только пространственных сочетаний форм рельефа дневной поверхности, русловых переформирований, участков размыва и аккумуляции, вызванных экстремальными событиями и с большим или меньшим успехом читающихся на космических снимках высокого разрешения, но и вести мониторинг смещений единичных обломков, подсчет объемов эродируемого, транспортируемого и аккумулируемого материала. Фототон, вероятно, можно использовать в качестве маркера «свежести» или возраста наблюдаемых следов размыва и аккумуляции – не только на уровне присутствия или отсутствия растительного покрова, но и анализа оттенков (чем светлее, тем «свежее» форма).

На основе проведенного исследования предлагается следующая последовательность крупномасштабного изучения экстремальных экзогенных процессов. Первый этап – крупномасштабное геолого-геоморфологическое камеральное и полевое изучение района проявлений геоморфологического процесса, съемка арены его действия посредством БПЛА. Второй этап – составление ортофотопланов, цифровых моделей рельефа, 3-D модели объекта и их результирующих (топографических профилей, гипсометрических карт, карт уклонов, кривизны поверхности, возможных направлений стока и пр., определяющих морфологические особенности, интенсивность и динамику процесса), обработка полевых данных геолого-геоморфологической съемки (составление специальных геолого-геоморфологических материалов – профилей, общих и частных геоморфологических схем и пр.). Третий этап – сопоставление данных, полученных при ручном обследовании территории и путем обработки данных воздушного обследования, выявление очагов зарождения и площадей распространения геоморфологических процессов, качественных и количественных характеристик их проявлений и пр. Четвертый этап – повторные обследования территории, построение динамических и статических моделей развития, прогноз.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность сотрудникам и студентам кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова Ф.А. Романенко, А.И. Рудинской, А.И. Бондарю и Ю.В. Шишкиной в проведении полевых работ и обработке материалов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-05-00630а, «Пространственно-временные аспекты взаимодействия селевых и флювиальных процессов в долинах низкогорий Кольского полуострова») по теме госзадания АААА-А16-11632810089-5 «Эволюция природной среды, динамика рельефа и геоморфологическая безопасность природопользования».

ACKNOWLEDGEMENTS

Authors are grateful to the staff and students of the Department of Geomorphology and Paleogeography (Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University) F.A. Romanenko, A.I. Rudinskaya, A.I. Bondar and Yu.V. Shishkina.

The study was supported by the RFBR project No 17-05-00630 and GM АААА-А16-11632810089-5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беляев Ю.Р., Новикова Н.Г., Романенко Ф.А.* Роль водно-ледниковой аккумуляции в формировании грядового рельефа побережья Умбозера (Кольский полуостров) // Геоморфологические процессы и их прикладные аспекты. VI Шукинские чтения – Труды. М.: Географический ф-т МГУ, 2010. С. 270–272.
2. Водоснежные потоки Хибин / Под ред. А.Н. Божинского, С.М. Мягкова. М.: Географический факультет МГУ, 2001. 167 с.
3. *Грядунюв Д.А., Митрофанов Е.В., Бубненко Д.И.* О применении комплексов беспилотных летательных аппаратов в системе многоуровневого экологического мониторинга // Вестник Московского государственного областного университета. Серия Естественные науки. 2012. № 4. С. 95–99.
4. *Медведев А.А., Алексеенко Н.А., Курамагомедов Б.М.* Возможности и ограничения использования БПЛА в географических исследованиях // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2016. Т. 60, № 5. С. 117–122.
5. Национальный атлас России. Т. 2. Природа и экология. М.: ФГУП «ГОСГИСЦЕНТР», 2004. 495 с. Электронный ресурс: www.национальныйатлас.рф/cd2/index.html (дата обращения: 01.03.2018)
6. *Пожиленко В.И., Гавриленко Б.В., Жиров Д.В., Жабин С.В.* Геология рудных районов Мурманской области. Апатиты: КНЦ РАН, 2002. 359 с.
7. *Романенко Ф.А., Лукашов А.А., Шилова О.С.* Катастрофические гравитационные процессы на севере Европейской России и опыт их абсолютного датирования // Геоморфология. 2011. № 1. С. 87–94. DOI: 10.15356/0435-4281-2011-1-87-94.
8. *Perov V., Chernomorets S., Budarina O., Savernyuk E., Leontyeva T.* Debris flow hazards for mountain regions of Russia: regional features and key events. *Natural Hazards* 88. 2017. P. 199–235. DOI: 10.1007/s11069-017-2841-3.
9. *Piras M., Taddia G., Forno M.G., Gattiglio M., Aicardi I., Dabove P., Lo Russo S. & Lingua A.* Detailed geological mapping in mountain areas using an unmanned aerial vehicle: application to the Rodoretto Valley, NW Italian Alps, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 2017. V. 8:1. P. 137–149. DOI: 10.1080/19475705.2016.1225228.

REFERENCES

1. *Belyaev Yu.R., Novikova N.G., Romanenko F.A.* The role of water-glacial accumulation in the formation of the ridge relief of the Umbozero coast (Kola Peninsula). *Geomorphological processes and their applied aspects. VI Schukin Readings – Proceedings*. Moscow: Geographical Faculty of Moscow State University, 2010. P. 270–272 (in Russian).
2. *Pozhilenko V.I., Gavrilenko B.V., Zhirov D.V., Zhabin S.V.* Geology of mineral areas of the Murmansk Region. Apatity: Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2002. 359 p. (in Russian).
3. *Gryadunov D., Mitrofanov E., Bubnenkov D.* Use of unmanned aerial vehicles in a system of multilevel environmental monitoring. *Vestnik Moskovskogo Oblastnogo Universiteta. Seria: «Estestvennienauki»*, 2012. No 4. P. 95–99 (in Russian).
4. *Medvedev A., Alekssenko N., Kuramagomedov B.* Possibilities and limitations of use UAV in geographical researches. *Izvestia vuzov "Geodezy and acrophotography"*. 2016. V. 60, No 5. P. 117–122.
5. National Atlas of Russia. Chapter 2 "Environment (Nature). Ecology". Moscow: "GOSGIST-SENTER", 2004. 495 p. web resource: www.национальный атлас.рф/cd2/index.html, accessed 01.03.2018 (in Russian).

6. *Perov V., Chernomorets S., Budarina O., Savernyuk E., Leontyeva T.* Debris flow hazards for mountain regions of Russia: regional features and key events. *Natural Hazards* 88. 2017. P. 199–235. DOI: 10.1007/s11069-017-2841-3.
7. *Piras M., Taddia G., Forno M.G., Gattiglio M., Aicardi I., Dabove P., Russo S.Lo. & Lingua A.* Detailed geological mapping in mountain areas using an unmanned aerial vehicle: application to the Rodoretto Valley, NW Italian Alps, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 2017. 8:1. P. 137–149, DOI: 10.1080/19475705.2016.1225228.
8. *Romanenko F.A., Lukashov A.A., Shilova O.S.* Catastrophic gravitational processes on the north of the European part of Russia and an attempt of their absolute agedatin. *Geomorphology RAS*. 2011. No 1. P. 87–94. DOI: 10.15356/0435-4281-2011-1-87-94.
9. Slush flows at the Khibiny. Ed. by A.N. Bozhinsky, S.M. Myagkov. Moscow: Geographical Faculty of Moscow State University, 2001. 167 p. (in Russian).