



# ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ФОРМИРОВАНИЯ СЕЛЕЙ

## GEODYNAMIC POTENTIAL OF MUDFLOW FORMATION

**РЕВЗОН А.Л.**

*Заведующий отделом Научно-исследовательского института транспортного строительства (ОАО ЦНИИС), д.г.н., RevzonAL@tsniis.com*

**REVZON A.L.**

*The head of a department of the Research Institute of Transport Construction (TsNIIS OJSC), doctor of science (Geography), RevzonAL@tsniis.com*

### **Ключевые слова:**

*геодинамический потенциал; селевые потоки; склоновые процессы; оползни; обвалы; осыпи; каменные глетчеры; аэрокосмическое зондирование; картографирование; мониторинг.*

### **Key words:**

*geodynamic potential; mudflows; slope processes; landslides; landfalls; debris streams; rock glaciers; aerospace sensing; mapping; monitoring.*

### **Аннотация**

**В статье рассматриваются возможности выявления, оценки интенсивности и активности, картографирования и мониторинга склоновых процессов в горных районах как геодинамического потенциала формирования твердой составляющей селевых потоков. В качестве информационной основы для решения этих задач используются методы аэрокосмического зондирования. Рассмотрен и проиллюстрирован многолетний опыт исследований в данном направлении в горных районах Кавказа, Памиро-Алая, Тянь-Шаня, Прибайкалья, Сихотэ-Алиня.**

### **Введение**

К результатам исследований закономерностей развития селей в отношении механизма и морфологии этих многокомпонентных по генезису разрушительных процессов, накопленным более чем за 50 лет, прошедших со времен деятельности одного из основоположников отечественного селеведения С.М. Флейшмана [7], мало что можно добавить. В настоящее время вклад в развитие селеведения идет по пути совершенствования инструментария исследований, позволяющего измерять, классифицировать, рассчитывать, моделировать и прогнозировать формирование и последствия этих процессов с учетом новых данных о причинно-следственных связях селеобразования, параметрах современных селевых потоков на основе современных методов получения и обработки информации и совершенствования численных решений [8, 9].

Наиболее информативной системой получения данных о закономерностях зарождения и формирования селевых потоков является аэрокосмическое зондирование, выполняемое с различных видов носителей съемочной аппаратуры в широком диапазоне электромагнитного спектра. Именно благодаря этой системе стало возможным проследить, как идет формирование селя от верховий горной долины до устьевых выноса, что в условиях многоярусного сильно расчлененного горного рельефа при использовании других методов не столь информативно (рис. 1, 2). Об этом говорит наличие в настоящее время соответствующих карт практически на все селеопасные районы Рос-

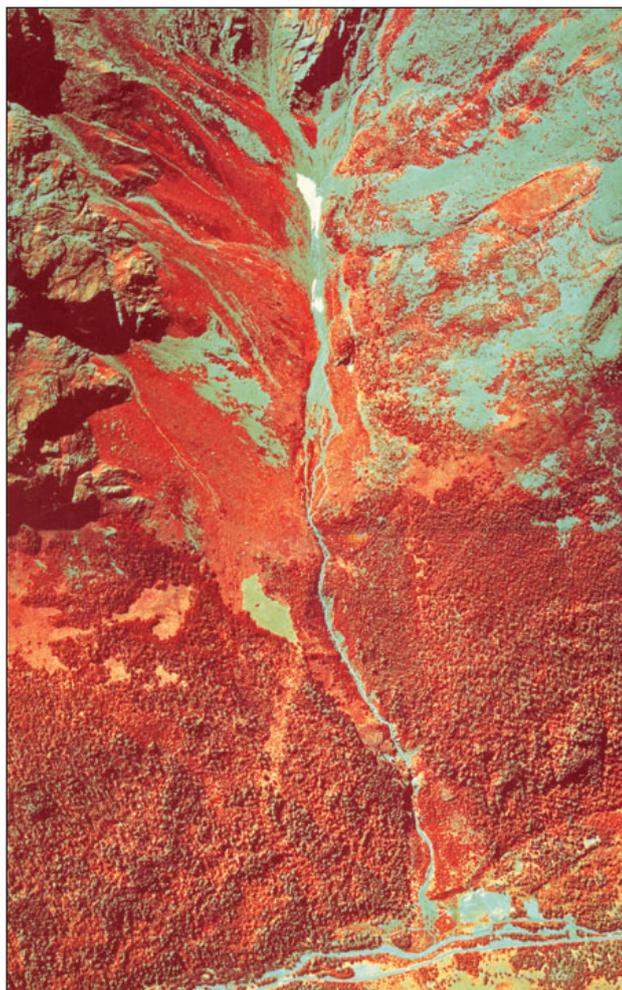
### **Abstract**

**The article deals with possibilities of revealing, estimating the intensity and activity, mapping and monitoring of mountain slope processes as geodynamic potential of solid component formation of mudflows. Aerospace sensing methods are used as the infobase for solution of these tasks. The long-term experience of investigations in this direction in mountain areas of the Caucasus, Pamir-Alay, Tien-Shan, Baikal region, Sikhote-Alin is considered and illustrated.**



сии, при составлении которых применялись материалы аэрокосмических съемок. Однако анализ подобных карт (в основном мелко- и среднemasштабных) позволяет заключить, что взаимодействие различных эндо- и экзогенных склоновых процессов при формировании твердой составляющей селевых потоков отражается на них недостаточно полно, без фиксации конкретных очагов склоновой денудации, в т.ч. сейсмодислокаций, без их классификации и оценки интенсивности развития склоновых процессов (динамичности, относительного возраста, механизма и направленности смещений горных пород).

Изучая селевые процессы, мы должны исследовать не только морфологию селевых долин и их водный режим, но и все процессы, благодаря развитию которых горные долины пополняются рыхлым и обломочным материалом, — сейсмотектонические, ледниково-гляциальные, возникновение обвалов, осыпей, оползней и их комбинаторику, причем в динамике — по методологии мониторинга в режиме реального времени. Поэтому ис-



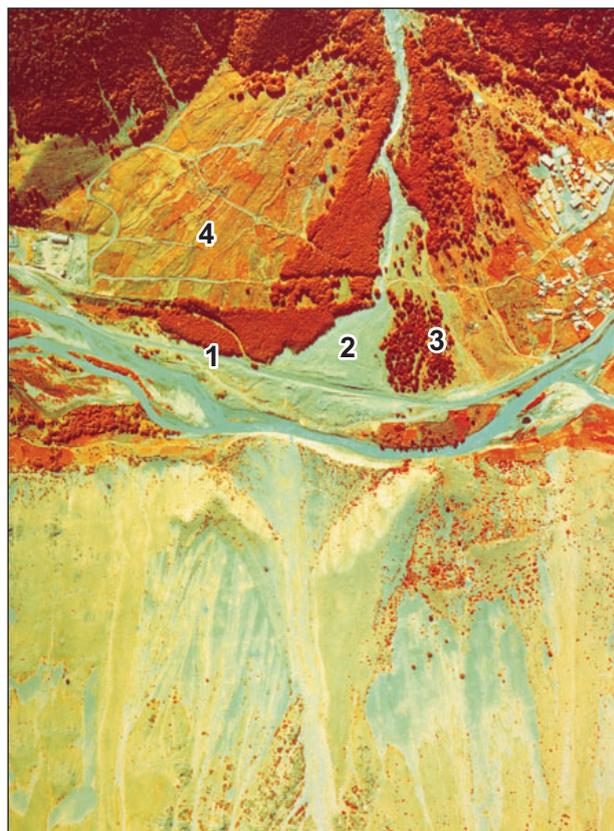
**Рис. 1.** Фрагмент многозонального аэроснимка очага формирования селей в Баксанской долине в Приэльбрусье. На снимке прослеживаются все элементы, формирующие селеносную долину от верховьев до устья, — водосборная воронка, канал стока, конус выноса. Источниками пополнения твердой составляющей селевого потока являются оползни-потоки, осыпи и обвалы

следования по оценке селеопасности и селевой активности должны опираться на комплексный геодинамический анализ селевого бассейна и иметь в качестве одного из результатов соответствующую оценку эндо- и экзодинамического потенциала изучаемого района.

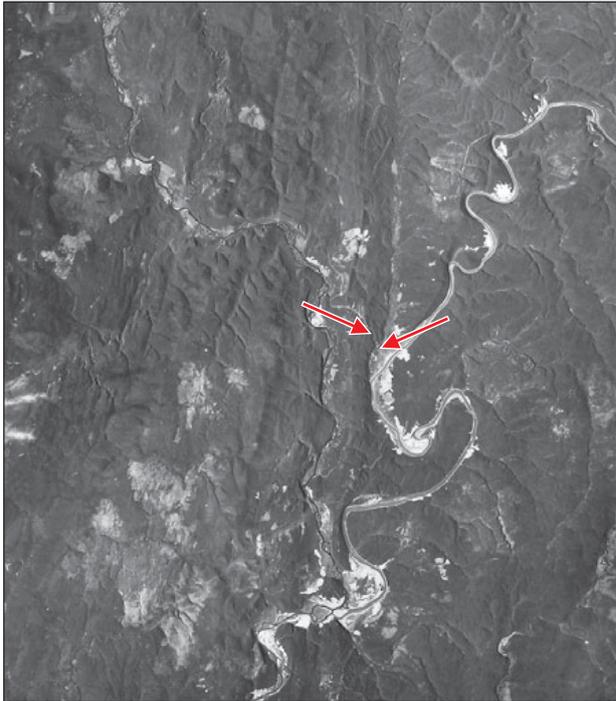
### **Геодинамический потенциал — фактор формирования селей**

В настоящее время общеизвестно, что очень часто склоновые смещения масс горных пород катастрофического характера развиваются парагенетически, с их переходом из одного состояния в другое в зависимости от сочетания ряда факторов — степени тектонической раздробленности и сейсмической активности горных массивов, состава и обводненности горных пород, морфометрии склонов.

Опубликованные данные о характеристиках ряда землетрясений, произошедших в последнее десятилетие, в том числе Вэньчуаньского землетрясения 2008 г. в Китае [1], свидетельствуют о том, что, начинаясь с сейсмотектонических дислокаций (рис. 3, 4), смещения сейсмогравитационного характера в виде горных обвалов и оползней, поставляя обломочный и рыхлый материал в речные

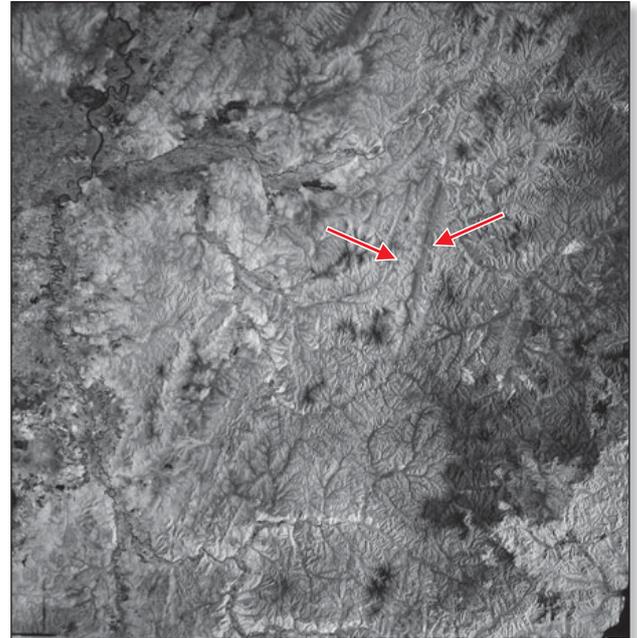


**Рис. 2.** Фрагмент многозонального аэрофотоснимка селеопасного участка в Приэльбрусье: 1 — автомобильная трасса после ликвидации деформаций, произошедших вследствие прохождения селевого потока; 2 — свежий (возрастом 1 год) селевой конус выноса; 3 — давний (до 15 лет) селевой конус выноса; 4 — сельскохозяйственные угодья на древнем (до 100 лет) конусе выноса



**Рис. 3.** Фрагмент космического фотоснимка Северного Прибайкалья. Хорошо выражено меридиональное простиране системы разломов, контролирующее строение продольного профиля крупных рек. Разломы играют роль ловушек для пересекающих их участков долин с очагами развития эрозийных, гравитационных и карстовых процессов. Красные стрелки фиксируют меридиональный разлом, играющий роль ловушки для участка долины реки, изменившей свой продольный профиль под влиянием тектонически раздробленных горных пород

долины, провоцируют формирование мощных селевых потоков. Ряд оползней сложного типа, имея в головной части блоковую структуру сместившихся масс, а в центральной — грядовую, в ниж-



**Рис. 4.** Фрагмент космического фотоснимка горного массива Сихотэ-Алинь. Региональный разлом меридионального простира — зона развития обвално-осыпных процессов. Красные стрелки указывают на региональный разлом меридионального простира, подчеркиваемый локализацией в его осевой зоне линейно ориентированных обвално-осыпных очагов



**Рис. 5.** Активный оползень-поток в долине реки Аргун в Северной Осетии. Движущийся оползень-поток, развитый по всему склону, имеет в плане характерную ложкообразную форму. На его теле прослеживаются участки с различными фазами активизации по возрасту и типу смещения



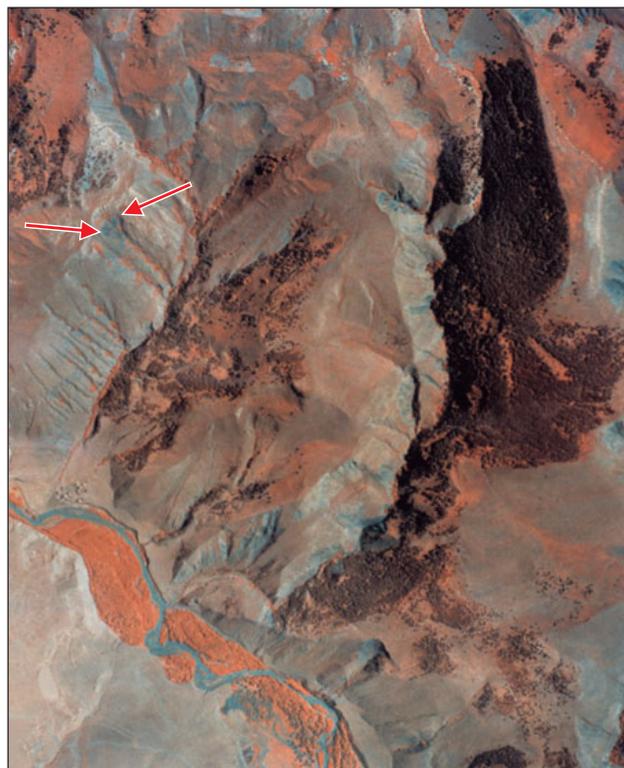
ней (языковой) — приобретают структуру потоков, по существу, селевых. Причем они часто занимают 2/3 длины горного склона. Такое явление характерно для оползней Кавказа, Тянь-Шаня, предгорий Памира, Сахалина (рис. 5, 6).

Унаследованное развитие оползней и обвалов в пределах оползневых и обвально-осыпных очагов (часто древних по относительному возрасту, приуроченных к зонам активных обводненных разломов, часто к узлам их пересечения), характеризующееся постоянной активизацией в результате небольших по амплитудам сейсмических подвижек и сезонных климатических аномалий, является характерной закономерностью, с которой напрямую связана повторяемость селей с большими объемами селевых выносов. В процессе исследований на Кавказе, Сихотэ-Алине, в пределах Чаткало-Кураминской горной системы и хребта Каратау автор документировал десятки оползневых и обвально-осыпных очагов, линейно ориентированных вдоль осевых зон региональных разломов, с признаками разновозрастной активности именно такого типа (рис. 7–9). В настоящее время это общеизвестно, хотя впервые указанная закономерность была установлена и обоснована именно по данным дешифрирования материалов аэрокосмических съемок в начале 1980-х гг. [5].



**Рис. 6.** Фрагмент многозонального аэроснимка предгорий хребта Каратау в Таджикистане. Оползни в лессовидных суглинистых толщах: 1 — начальные стадии оползней, формирование трещин-заколов, в ряде случаев обработанных овражной эрозией; 2 — сформировавшиеся оползневые цирки со сложной структурой сместившихся масс (головная часть — блоки, центральная — поперечные гряды, языковая — натечная структура)

Еще один фактор, определяющий геодинамический потенциал формирования селей, связан с динамикой каменных глетчеров. Приуроченные к днищам долин, они по своей форме похожи на оползни-потоки, отличаясь внешне по размерам, консистенции и составу смешанного материала. Каменные глетчеры достигают в длину 1 км. Их ширина в головной части может составлять 100 м, в языковой — несколько десятков метров. Толщина каменных глетчеров в отдельных случаях достигает 50 м. Скорость их смещения на Кавказе составляет десятки метров в год. При своем движении они не только «выпахивают» днище долины, но и резко подрезают склоны, ослабляя их устойчивость, что способствует активизации обвальных, осыпных и солифлюкционно-оползневых процессов. При этом язык глетчера, подобно языку сползающего ледника, выполняет функции бульдозера и ковша экскаватора, формируя на своем пути отрицательные и положительные формы рельефа, сложенные грубообломочным несортирован-



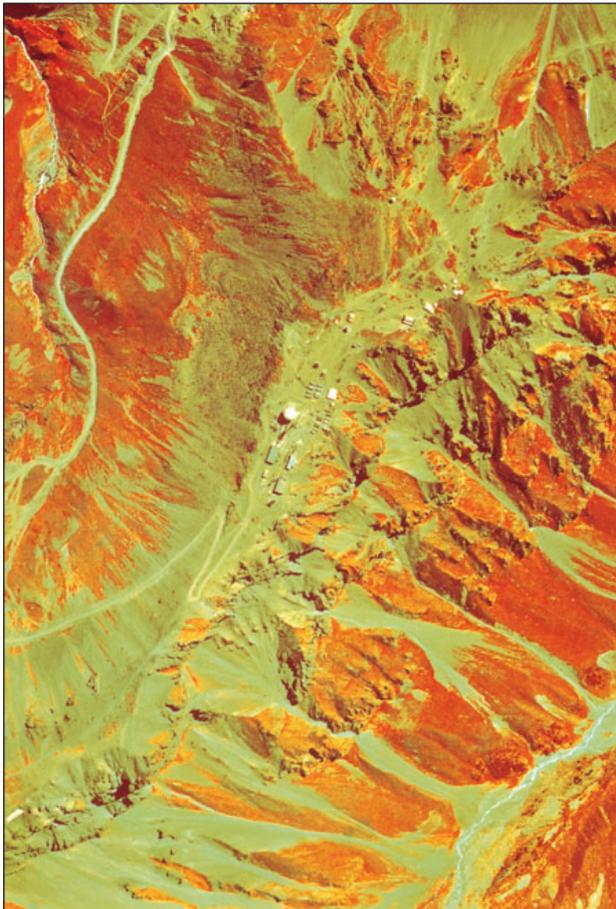
**Рис. 7.** Фрагмент многозонального аэрофотоснимка участка горного массива на Северном Кавказе. Формирование оползневых процессов. Голубые пятна на склонах связаны с участками повышенного увлажнения полускальных пород палеогена за счет выходов на поверхность или близкого залегания к ней подземных вод. Эти участки рассматриваются как потенциально оползнеопасные. В таких обводненных участках, переработанных эрозией, имеющих унаследованный характер в пределах давних оползневых очагов (левый верхний угол снимка), в периоды ближайших ливневых дождей прогнозируются новые оползневые смещения. Красные стрелки фиксируют обводненную зону аргиллитовых толщ в пределах унаследованного оползневого очага

ным и легко размываемым селевыми потоками материалом (рис. 10–11).

Рассмотренные выше источники пополнения твердой составляющей селевых потоков определяют их геодинамический потенциал, который благодаря современным программным средствам обработки аэрокосмической информации может быть рассчитан с позиций прогноза объемов обломочного и рыхлого материала, поступающего в селевые долины.

### **Картографирование геодинамического потенциала как информационная основа для расчетов и прогнозирования объемов твердой составляющей селевых потоков**

За последние 25 лет накоплен большой опыт применения современной многоспектральной аэрокосмической информации в качестве информационной основы для обеспечения разномасштабного картографирования селевой опасности на уровнях типизации селевых бассейнов, выделения и классификации селевых очагов по типам питания очагов зарождения, частоте и повторяемости селей, морфологии селевых долин [2–4, 6].

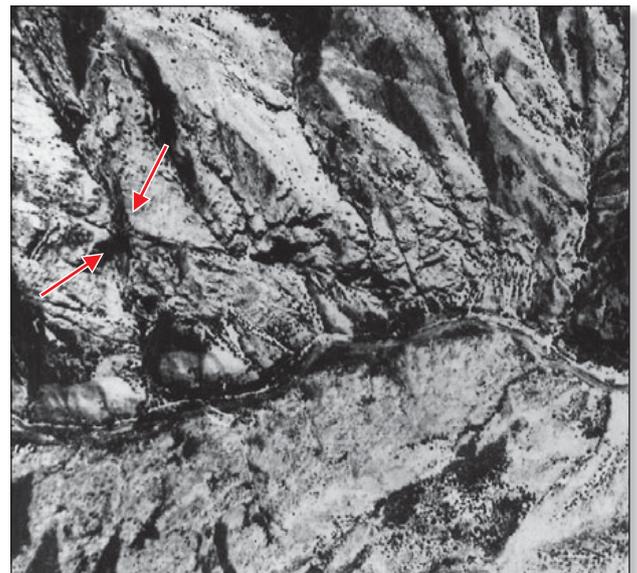


**Рис. 8.** Фрагмент многозонального аэроснимка участка проявления осыпных процессов в Приэльбрусье. Интенсивное осыпеобразование в разнообразных формах: конусы выноса, шлейфы, пятна — источники пополнения твердой составляющей селевых потоков

Вместе с тем возможности детальной оценки геодинамического потенциала формирования селей в системе их исследований и картографирования их опасности развиваются недостаточно полно. Картографирование необходимо вывести на уровень каждого оползневого или обвально-осыпного очага с детальной оценкой потенциальной активности, стадийности, направленности и объемов возможных смещений, с точным определением границ и площадей, с отражением на картах причинно-следственных связей склоновой геодинамики (рис. 12).

Такие карты делались в 1970–1980-х гг., опыт их составления многообразен [10, 11]. Количественная оценка указанных выше параметров осуществлялась с помощью характерного для того времени инструментария (стереофотограмметрических приборов, планиметров, курвиметров). В наши дни использование современных программных средств позволяет осуществлять подобные измерения значительно эффективнее по временным затратам и точности, что обеспечивает оперативное получение цифровых данных в автоматизированном режиме для прогнозирования объемов сезонного пополнения твердой составляющей селевых потоков и масштабов возможных разрушений от их прохождения.

Возможность оценки временных изменений геодинамического состояния горных массивов в пределах селевых бассейнов, селевых долин и их морфологических элементов обеспечивается наличием банков данных аэрокосмической информации, в первую очередь для районов Кавказа, горных массивов Восточной Сибири и Дальнего Востока.



**Рис. 9.** Фрагмент космического фотоснимка узла пересечения разнонаправленных активных разломов на Кавказе. В этом узле локализованы очаги обвалов и оползней блокового типа. Красные стрелки указывают на приуроченность крупного оползня блокового типа к узлу пересечения разнонаправленных разломов



## Мониторинг геодинамической ситуации в селеопасных районах

В настоящее время геодинамические исследования фрагментарно выполняются лишь для отдельных селевых долин в рамках конкретных заказов бизнес-структур. Региональный геодинамический мониторинг горных территорий в России не осуществляется.

Вместе с тем в 1970–1980-х гг. в пределах ряда горных районов Советского Союза силами организаций Мингео СССР и отраслевых министерств и ведомств (Минтрансстроя, Минводхоза, Госстроя СССР, ГУГК при СМ СССР) осуществлялись целенаправленные планомерные исследования по региональному и локальному развитию экзогенных процессов (для обоснования крупных строительных проектов) на Кавказе, в горных районах зоны освоения БАМ, на Памиро-Алае, Тянь-Шане, в горах Дальнего Востока — сначала для изучения их развития на момент исследования, а затем и для развития методологии мониторинга. Их результатом явился соответствующий комплекс карт для оценки интенсивности развития оползней, селей, обвалов

и осыпей, а также лавин в масштабах 1:500 000–1:200 000, а по ряду районов — и в более крупных. На картах фиксировалось состояние каждого локализованного очага проявления изучаемого процесса с отражением его площадных параметров, направленности склонового смещения, его механизма, морфологии и относительного возраста, повторяемости смещений. Эти материалы хранятся в соответствующих фондах и могут быть использованы в качестве стартовой основы для организации нового этапа мониторинга с целью обновления данных, оценки динамики и уточнения геодинамической ситуации. После произошедших глобальных изменений сейсмотектонической и климатической ситуации это чрезвычайно актуально, в т.ч. для уточнения прогнозов селеопасности. Для ряда районов Краснодарского и Ставропольского краев, в частности для зоны строительства объектов предстоящей Олимпиады-2014, решение этой задачи весьма важно в рамках мониторинга состояния природно-технической системы Большого Сочи в связи с новым импульсом в развитии его инфраструктуры.

## Выводы

- 1) В решении проблемы совершенствования прогнозов селевой активности значительные резер-

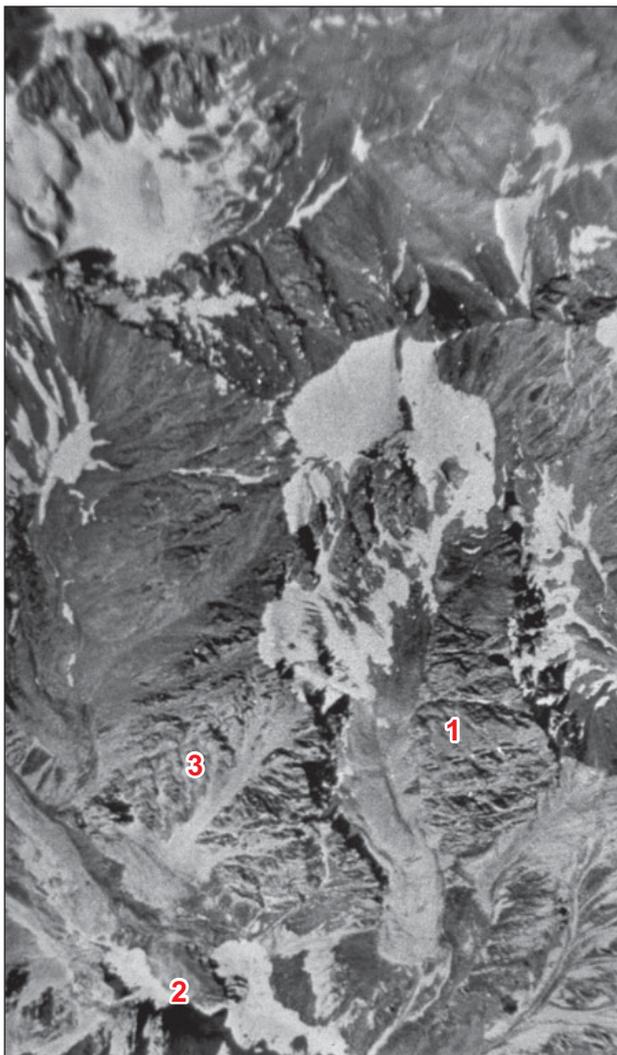


Рис. 10. Фрагмент космического фотоснимка высокогорного Кавказа. Очаги формирования лавин и селей: 1 — сползающие каменные глетчеры; 2 — снежники в каровых цирках; 3 — следы схода лавин

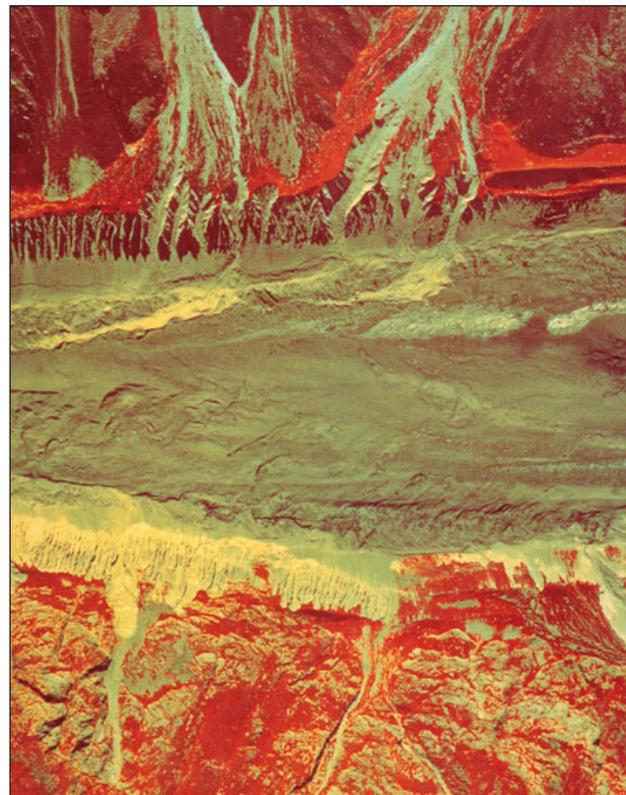
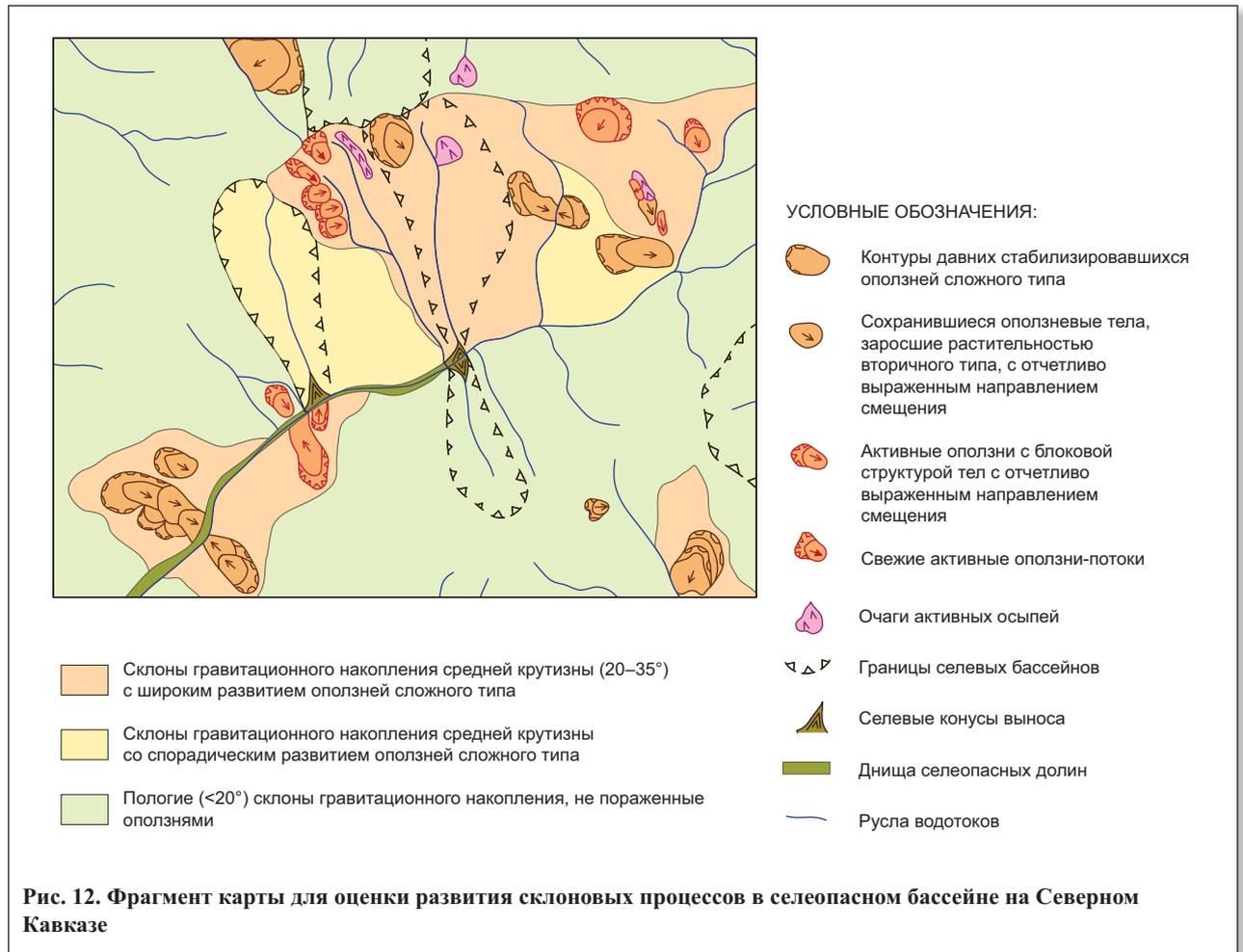


Рис. 11. Фрагмент многозонального аэроснимка участка движущегося каменного глетчера в Приэльбрусье. При движении вниз по склону глетчер выпахивает себе долину, подрезая склоны гор, нарушая их устойчивость и провоцируя активизацию склоновых процессов. Его тело деформируется по борту южной экспозиции термоэрозионными и солифлюкционно-оползневыми процессами



**Рис. 12.** Фрагмент карты для оценки развития склоновых процессов в селеопасном бассейне на Северном Кавказе

вы связаны с оценкой геодинамического потенциала формирования твердой составляющей селевых потоков.

- 2) Детальное изучение (выделение, типизация, морфометрические измерения, оценка интенсивности и стадийности, исследование причинно-следственных связей) и картографирование сейсмодислокаций, оползневых, обвально-осыпных, нивально-гляциальных очагов в пределах селеопасных районов на основе применения многоспектральной аэрокосмической информации обеспечит информационную основу для расчетов объе-

мов обломочных и рыхлых пород, формирующих твердую составляющую селевых потоков.

- 3) Необходимо возобновить исследования в данном направлении, приостановленные в начале 1990-х гг., и осуществлять их по методологии мониторинга, учитывая, что стартовая основа в виде комплекса соответствующих карт по ряду селеопасных районов России сохранилась в фондах организаций, проводивших эти исследования ранее, а получение новой космической информации для их обновления в настоящее время не является проблематичным.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вэй Ю. Цз., Ду С.Л., Тао Л. Цз. Основные характеристики Вэньчуаньского землетрясения и его влияние на опасные геологические процессы // Геориск. 2010. № 1. С. 6–11.
2. Грицык В.И., Ревзон А.Л. Аэрокосмическая геоинформация для проектирования, строительства и реконструкции железных дорог. М.: Изд-во ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. 79 с.
3. Ревзон А.Л. Картографирование состояний геотехнических систем. М.: Недра, 1992. 223 с.
4. Ревзон А.Л. Природа и сооружения в критических ситуациях. Дистанционный анализ. М.: Триада, 2001. 207 с.
5. Ревзон А.Л., Юровский Б.Л. Космическая информация и прогнозирование экзогенных процессов // Исследование Земли из космоса. 1983. № 4. С. 47–53.
6. Садов А.В. Аэрометоды изучения селей. М.: Недра, 1972. 148 с.
7. Флейшман С.М. Сели. М.: Гидрометеиздат, 1978. 312 с.
8. Черноморец С.С. Селевые очаги до и после катастроф. М.: Научный мир, 2005. 180 с.
9. Черноморец С.С., Тутубалина О.В., Запорожченко Э.В. Россия — СССР — Россия: селевые потоки прежде и теперь. Прикладные вопросы географии и геологии горных областей Альпийско-Гималайского пояса // Материалы конференции, посвященной 90-летию профессора С.П. Бальяна. Ереван: Изд-во ЕГУ, 2007. С. 107–112.
10. Шеко А.И. Закономерности формирования селей. М.: Недра, 1980. 296 с.
11. Шеко А.И., Круподеров В.С. Оценка опасности и риска экзогенных геологических процессов // Геоэкология. 1994. № 3. С. 11–21.