

УДК 551.311.8(084.3)

Д.А. Парамонов

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КРУПНОМАСШТАБНОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ СЕЛЕЙ

© Д.А. Парамонов

Геоинформационные технологии

Введение

В настоящий момент картографирование селей ориентируется в основном на решение глобальных и региональных задач. Наиболее развитым является направление мелкомасштабного картографирования селевой опасности и генетических типов селевых бассейнов (Атлас Азейбарджанской... 1963, Атлас Армянской... 1961, Атлас снежно-ледовых... 1997 и др.).

В конкретной деятельности по обеспечению безопасности населения от селей назрела необходимость разработки подходов к крупномасштабному картографированию. Исследования в данном вопросе ограничиваются как правило масштабом 1:10000. Между тем, одним из важнейших направлений является разработка методик прогноза и оценки селевой опасности, для которых требуются картографические данные с высоким уровнем детализации.

Прогностические и оценочные работы в основном базируются на данных мониторинга и экспедиционных исследованиях. Наиболее высокую ценность представляют сведения о динамике селеопасных объектов за определенные периоды времени. Для объективной оценки селевой опасности требуются точные картографические данные на очаги формирования и зоны питания селей. Чтобы корректно оценить взаиморасположение и динамику объекта на обычно незначительных по площади участках, карты должны быть максимально подробны. Масштаб их должен позволять в случае повторной съемки производить оценку изменения границ и высот объектов, с точностью нескольких десятков сантиметров. Картографические материалы данной точности относятся к масштабу планов. Вопросы картографирования условий формирования селей в масштабе планов остаются на данный момент малоизученными. Между тем анализ состояния очагов формирования селя и зон его питания является важнейшим элементом на этапе оценки и прогноза селевой опасности.

Для обеспечения корректности исследований, данные должны быть не только высокоточными, но и по возможности наиболее свежими. Отсюда вытекает требование к оперативности проведения съемочных и картографических работ, цель которых –

обеспечение данными прогностических и оценочных исследований возможного развития селей, в особенности тех, что представляют угрозу для безопасности населения, зданий, сооружений и объектов инфраструктуры.

Данные задачи требуют поиска нетрадиционных методов получения географической информации об условиях формирования селей. Катастрофы, произошедшие в Тырныаузе (2000 г.) и в Кармадонском ущелье (2001 г.) еще раз свидетельствуют о необходимости постановки задач мониторинга и оперативного картографирования потенциально опасных районов.

Район исследования

Наибольшая интенсивность селевых процессов достигается в южных районах России, где интенсивное таяние снега и льда сочетаются со значительным количеством осадков. К данным районам относится Северный Кавказ. В качестве района исследования был выбран район Северного Кавказа – Приэльбрусье. Участок работ расположен в горной части долины реки Баксан и относится к наиболее освоенным горным территориям Северного Кавказа.

В настоящее время большинство ледников Северного Кавказа находятся в стадии интенсивной деградации. Интенсивное отступление в перигляциальной зоне создает условия для формирования подпрудных озер и массивов мертвых льдов (Сейнова, 1997 г.).

Данные озера часто являются потенциально селеопасными, поскольку плотина, сложенная моренными отложениями, неоднородна по механическому составу и часто включает в себя массивы мертвых льдов. Неравномерное таяние мертвых льдов, покрытых слоем моренных отложений, создает благоприятные условия формирования естественных преград для стока ледниковых вод. Поддержание водного баланса подпрудных озер происходит посредством поверхностного или внутреннего стока. При сочетании определенных условий может произойти сброс значительного объема водной массы, что часто является триггером формирования катастрофического селя.

В данном районе распространены преимущественно гляциальные сели, в формировании которых задействован ледниковый сток и процессы, связанные с таянием льда в приледниковой зоне. Подпрудные озера в перигляциальной зоне ледников площадью менее 100 м² весьма распространены на территории Северного Кавказа. В районе исследований находятся и более значительные по площади озера такие, как озеро Сылтран-Кель, озеро Башкара, подпрудные озера в нижней части ледника Башкара, озеро Донгузорун. Большинство из них сформировалось вследствие подпруживания обла-

сти стока коренными породами или моренными отложениями. К озерам, возникшим в результате отступления современных ледников, относятся озеро Башкара и подпрудные озера в нижней части ледника Башкара (рис. 1).

Язык ледника Башкара отступает и разрушается, оставляя в предполье массивы мертвого льда и новые образовавшиеся в начале 90-х гг. термокарстовые озера. Все это с большой очевидностью показывает, что в долине Адыл-Су существует реальная угроза схода катастрофического потока гляциального генезиса (Черноморец, 2004 г.).



Рис. 1. Подпрудные озера в предполье ледника Башкара (Северный Кавказ, р-н Приэльбрусье, фото автора)

Геоинформационный подход к методике составления карт условий формирования селей

Развитие геоинформационного подхода к составлению и разработке содержания карт существенно влияет на процесс картографирования. Меняются не только средства, но и методы. За прошедшие сто лет исследования селей, подходы и методики ведения научных работ претерпели значительные изменения. В настоящий момент наиболее динамично развиваются направления затрагивающие вопросы моделирования селевых потоков. Это особенно актуально при проектировании защитных сооружений и противоселевых мероприятий. Притом, что селевое картографирование имеет наибольшее развитие на региональном уровне и решает в основном научно-исследовательские задачи.

Доступность и возможность многоцелевого использования достижений мировой промышленности в области электроники и информатики обуславливает значительные изменения в методиках полевых исследований, обработки данных и представления результатов. Использование приемников спутникового позиционирования GPS и ГЛОНАС (сетей глобаль-

ного спутникового позиционирования), цифровых фотографических камер, переносных компьютеров высокой производительности, карманных компьютеров, мощных рабочих станций, современного программного обеспечения пока затрагивают в основном методические стороны исследований селей.

Содержание карт условий формирования селей разрабатывается средствами ГИС на основе взаимовлияющих блоков. На рис. 2 видно, что назначение карты является определяющим условием на этапе разработки ее содержания. Назначение карты обуславливает выбор картографируемого участка (очага формирования селя, селевого бассейна, района), информационную нагрузку, а также количественные и качественные характеристики объектов, которые необходимо отобразить на карте. Информативность карты определяется также используемыми источниками материалов, как правило они включают в себя топографическую основу, аэро- и космические снимки. Наряду с этими данными используются данные полевых исследований имеющих пространственную привязку сопоставимую по точности с масштабом картографирования, текстовые материалы и фотографии.

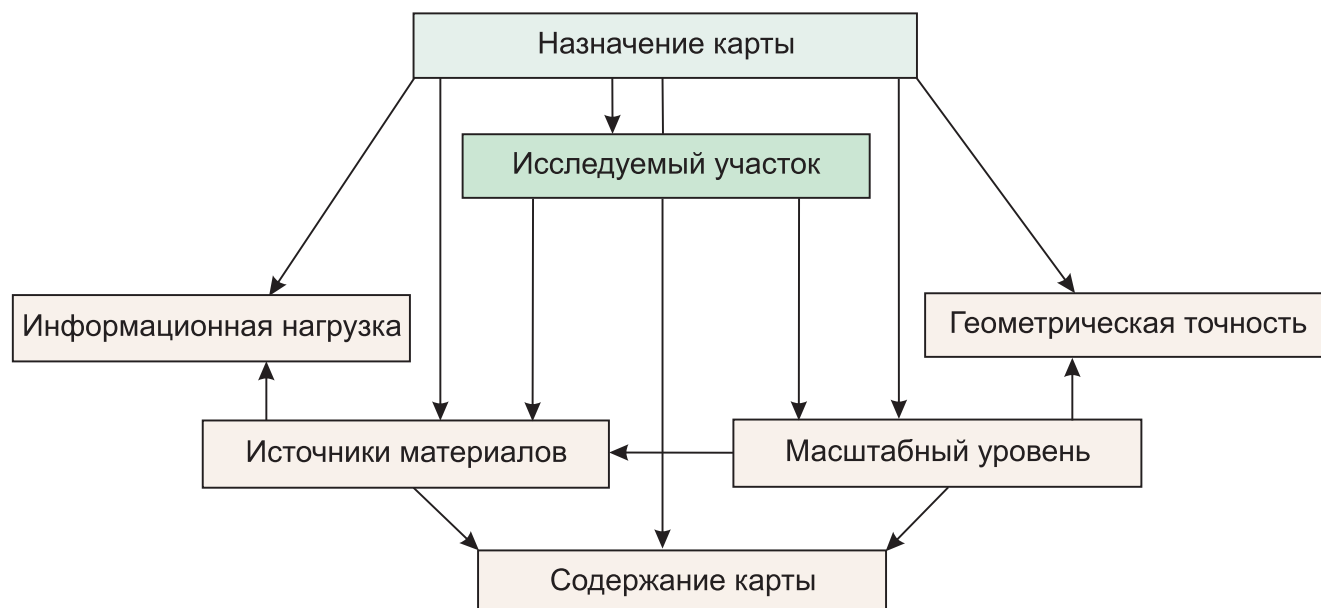


Рис. 2. Схема разработки содержания карт условий формирования селей

Одним из критериев пригодности источников данных является соответствие точности их локализации масштабу картографирования. Если данные нельзя позиционировать с требуемой точностью, то их применение для нанесения границ объектов будет являться некорректным. Из представленной схемы видно, что содержание карты определяется тремя основными составляющими: назначением, масштабом, и источниками материалов. Источники в свою очередь определяют информативность создаваемой карты. Используемый масштаб обозначает пределы геометрической точности.

В настоящее время, задача тематического картографирования не должна ограничиваться созданием составительского оригинала, и обеспечивать возможность использования карты в качестве составного элемента ГИС. Это открывает возможности для автоматизированного пространственного анализа. Ориентирование на многовариантность представления отражается на самом подходе к составлению карты, а также в используемых инструментальных и программных средствах. Уже на этапах предварительной обработки данных и разработки математической основы картограф-составитель должен исходить из перечня программных продуктов имеющихся в наличии. На наш взгляд, основные этапы составления карты требуется осуществлять в программной среде ГИС, элементом которой станет составленная карта. Большинство современных программных ГИС-пакетов имеют модули позволяющие осуществить форматирование векторных и растровых картографических данных. Поэтому в случае если конечный пакет программ не определен, выбор следует остановить на ГИС имеющих

широкое распространение и возможности форматирования в другие программные среды.

Подбор источников данных оценки их полноты производился стандартными программными средствами по просмотру и редактированию растровой графики, а также текстовыми редакторами.

Первым этапом является формирование структуры хранения данных. Нами была создана иерархическая структура каталогов, что позволило оптимизировать хранение и работу с данными. Если картографирование производится в нескольких масштабах, первым уровнем является масштабный ряд. Внутри масштабного ряда создаются каталоги, соотносящиеся с географическим названием картографируемой области или участка. Далее данные дифференцируются по типу. Подобная структура реализуема и в случае применения пространственной базы данных (рис. 3).

Остальные этапы, такие как разработка тематической основы, создание цифровой модели рельефа, трансформирование данных, классификация исходных данных по группам факторов выполняются уже с использованием функционального набора используемой ГИС. К картографированию следует подходить поэтапно. После завершения нанесения на карту границ первой группы факторов осуществляется дополнение тематических слоев следующей. При этом, в ходе работы производится топологическое согласование каждой последующей группы с предыдущей.

Реализация данной структуры позволяет в итоге получить три вида представления:

- тематический слой ГИС-проекта;
- печатный оригинал;

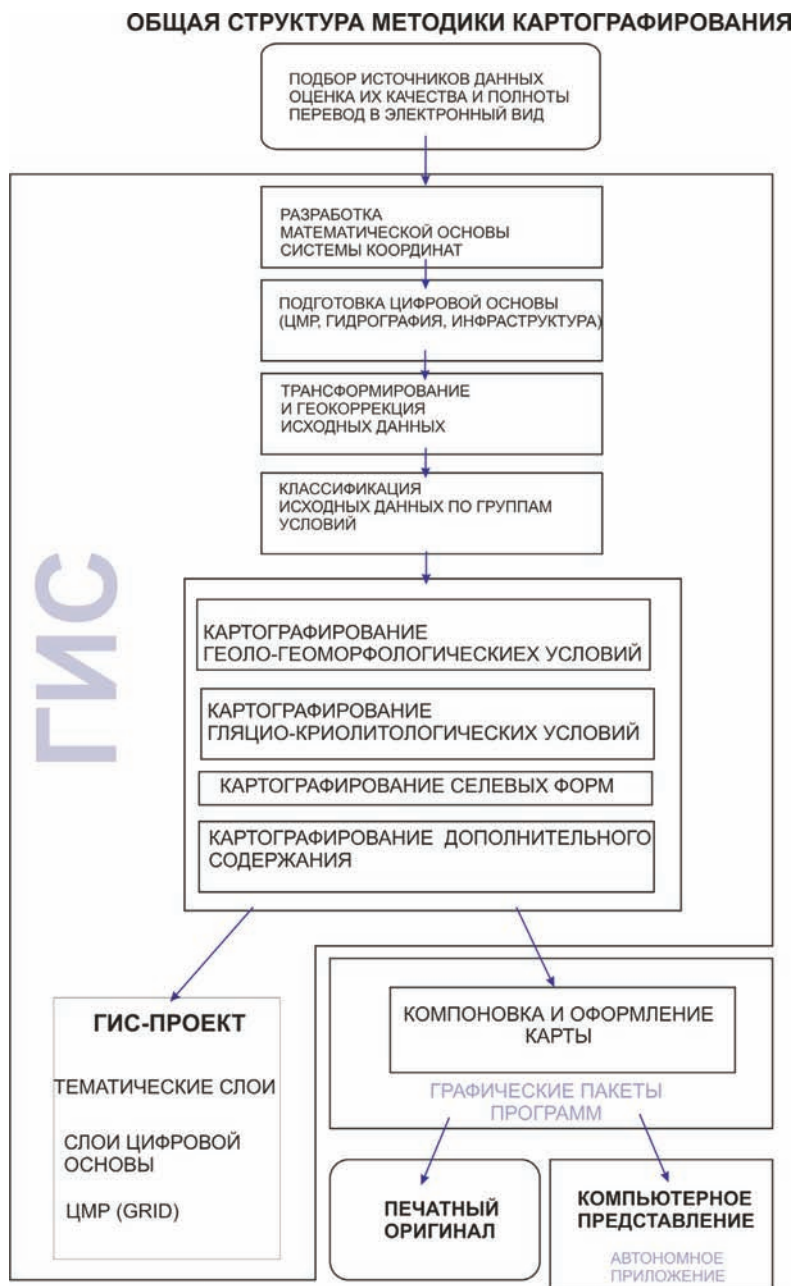


Рис. 3. Общая структура методики картографирования на основе ГИС

- автономное приложение.

Под автономным приложением мы понимаем исполняемый файл программы, выполняющий функцию графического представления карты в компьютерном виде. Приложение должно обладать минимальным функциональным набором для работы с картой (автоматический вывод координат, линейные измерения, перемещение по карте и масштабирование). Данная структура была реализована при разработке содержания карты условий формирования селей в масштабе 1:2000.

Вопросы картографирования условий формирования селей в масштабе планов являются на сегодня малоисследованными. Одной из основных проблем является получение исходных материалов тре-

буемой информативности и геометрической точности. На начальном этапе работ была произведена оценка различных способов получения данных требуемой точности.

В настоящий момент наиболее распространены следующие методики создания карт в масштабе планов:

- фототеодолитная съемка;
- тахеометрическая съемка;
- аэрофотосъемка.

Каждый из вышеперечисленных видов съемки ориентирован на определенный круг задач. Различия заключаются не только в инструментальных средствах, но также в особенностях обработки и геометрической точности результата картографирования.

При всех плюсах фототеодолитной и тахеометрической съемки, данные методы, применительно к задаче тематического картографирования, существенно уступают аэрофотосъемке. Неоспоримым достоинством аэрофотосъемки является оперативность, возможность проведения многозональной съемки, и получения, в результате, плановых аэрофотоснимков и стереопары. Существенным недостатком, ограничивающим применение аэрофотосъемки, является высокая стоимость и организационные сложности, связанные с применением авиации. В то же время регулярное наблюдение очагов формирования селей является необходимым условием для своевременного прогноза схода селевых потоков.

Выход заключается в применении новейших инструментальных средств с целью обеспечения оперативности на стадии полевых исследований. На исследуемом участке автором была апробирована аэрофотосъемка с летательного аппарата категории СЛА (сверхлегкой авиации), параплана.

Очаги формирования селей, как правило, находятся в труднодоступных горных районах. Сильно расчлененный рельеф и сложные геоморфологические условия созда-

ют дополнительные трудности при картографировании объектов заданных в селеформировании.

Ситуация осложняется распространенным подходом к финансированию исследовательских работ, направленных на изучение и прогноз селевых явлений. Максимум финансирования приходится на первые месяцы после схода катастрофических селей. Спустя несколько лет проблема в глазах чиновников теряет актуальность. Как правило, именно в этот период и происходит следующее катастрофическое событие.

Перед исследователем, как правило, стоит не только научная задача, но и практическая реализация результатов. Сведение затрат к минимуму стимулирует поиск новых решений в вопросах крупномасштабного картографирования селей. Одной из альтернатив аэрофотосъемки является **использование в качестве носителя сверхлегких летательных аппаратов.**

В предлагаемой методике используются элементы съемочного оборудования не находящегося в серийном производстве. В июле 2003 г. автором была сконструирована платформа, рассчитанная на установку фотокамеры на подвесную систему. Платформа устанавливается в кресло пилота. В данном случае использовался безмоторный вариант. Поэтому осуществлялся планирующий полет от точки старта до снимаемого участка. Требуемая высота съемки достигалась посредством превышения точки старта над снимаемым участком.

В результате реализации данной методики мы получили аэрофотоснимки с общей площадью 6 мегапикселей (разрешение 10-15 см на местности) с отклонением оси съемки от вертикали не более 5°.

Аэрофотосъемка является одним из этапов в комплексе полевых работ, поскольку для обеспечения фотограмметрической обработки снимков требуется произвести измерение координат опорных точек для построения сети фототриангуляции. Без проведения наземных измерений результаты аэрофотосъемки являются непригодными для картографирования в масштабе 1:2000. Определение координат опорных точек осуществляется посредством решения треугольников с примыкающими сторонами. Координаты пунктов рассчитываются методом обратной или прямой засечки.

В комплексе с теодолитом производились измерения точек 12-и канальным кодовым GPS-приемником на базе карманного персонального компьютера (КПК) «МЮ 168». КПК также использовался для занесения записей и оперативной оценки качества измерений.

Выбор метода съемки координат определяется условиями местности. Метод прямой засечки целесообразно использовать в случае, если все опор-

ные точки привязки однозначно определяются с базисных пунктов. Одним из необходимых условий является формирование опознаваемых ориентиров на местах расположения точек привязки, либо участия двух человек в съемочных работах. Наличие двух теодолитов позволяет повысить оперативность съемки более чем в два раза.

В случае небольшого количества определяемых пунктов целесообразно воспользоваться методом обратной засечки. Плюс данного метода заключается в том, что все измерения могут производиться одним оператором, не требуется наличие реечника, в тоже время не требуется установка ориентиров для опознавания точки привязки с базисных точек, метод не требует дополнительных перемещений.

Результаты теодолитной съемки являются основой для фотограмметрической обработки снимков. На каждом обрабатываемом снимке должны находиться 4 опорные точки при взаимном перекрытии снимков не менее 80%.

Обработка снимков производилась в камеральных условиях в пакете программ Erdas Imagine 8.7 после расчета параметров внутреннего ориентирования. Функциональный набор модуля Leica Photogrammetric Suite позволяет осуществлять фототриангуляцию и автоматизированное построение цифровой модели рельефа на основе серии стереопар.

В результате комплекса полевых и камеральных работ была получена бесшовная мозаика ортотрансформированных снимков и ЦМР. Эти данные послужили цифровой основой при составлении карты условий формирования селей в масштабе 1:2000. На основе ЦМР были автоматизировано построены средствами ГИС изолинии рельефа с шагом 1 м. Изогипсы были отображены на карте условий формирования селей.

Разработка содержания карт условий формирования селей масштаба 1:2000

Использование аэрофотоснимков высокого разрешения во многом облегчает составление карты и позволяет передать подробно геометрию объектов с точностью соответствующей масштабу снимка. На снимках с пространственным разрешением 15 см и крупнее мы имеем возможность различать весь комплекс объектов, находящихся на поверхности. С использованием высокоточной ЦМР нам становится доступно дешифрирование большинства объектов, система которых образует комплекс гидрологических и геоморфологических условий формирования селей.

Подходы к разработке карт крупного масштаба достаточно сильно различаются между собой и определены во многом назначением карт и их после-

дующим использованием. Большинство авторов, работающих в данной области, сходятся во мнении, что картографирование условий формирования селей в связи с многофакторностью и сложностью механизма селевых процессов должно быть реализовано на основе комплексного подхода. На подготовительном этапе был определен набор групп факторов и структурированных, исходя из назначения карты и особенностей ее использования. Мы предлагаем фиксировать на карте: геоморфологические, гидрологические и гляцио-криолитологические факторы поскольку именно они наряду с климатическими являются определяющими в процессе селеформирования.

Основное назначение данной карты – зафиксировать на определенный момент времени состояние комплекса объектов, задействованных в селеформировании, для оценки состояния селевого очага и исследовании динамики в будущем. Достичь данных целей можно только посредством картографирования в масштабе плана 1:2000 и крупнее.

Интенсивное таяние ледника и деградация мертвых льдов сопровождается значительным изменением рельефа и очертаний объектов, достигая 5 м в год. Масштаб 1:2000 соответствует точности рассчитанной ЦМР и позволяет зафиксировать годовые изменения объекта.

Крупномасштабному картографированию очагов формирования селей уделяется на сегодняшний момент недостаточное внимание. В связи с этим количество работ посвященных данной тематике крайне ограничено. В своих исследованиях мы руководствовались условиями максимально возможной информативности карты и соответствия точности нанесения объектов масштабу картографирования 1:2000.

Подход к разработке содержания карты основан на комплексном картографировании геоморфологических, гидрологических и гляцио-криолитологических условий формирования селя (рис. 4).

Геоморфологические факторы разделены на следующие группы:

- формы рельефа обвально-осыпного генезиса;
- долинный комплекс;
- селевые формы.

Гидрологические и гляцио-гидрологические условия сочетают в себе:

- ледниковый комплекс;
- водноледниковый комплекс.

При цифровании каждому тематическому слою соответствовал набор атрибутов, включающих информацию о типе объекта, идентификационном номере и его особенностях.

Дифференциация условий формирования селей на комплексы форм позволяет выделить основные генетические группы, к каждой из которых выбрана

цветовая гамма. Основное назначение данной карты заключается в фиксации ситуации на определенный момент времени. Информативность карты существенно повышена за счет отображения рельефа и гидрологических характеристик.

Подпруживание озера на исследуемом участке осуществляется массивами мертвых льдов, поэтому именно этим формам мы уделяли особое внимание. Нами была разработана методика выявления потенциально опасных участков подпрудной плотины на основе данных о рельефе подпруживающих массивов мертвого льда, высоте естественной плотины, значений уреза воды в озерах, их батиметрии (рис. 5).

При оценке использовались количественные характеристики, основанные на площади сечения естественной плотины. Данная методика призвана продемонстрировать возможности пространственного анализа на основе цифровой модели рельефа. Использование ГИС на этапах создания карты дает возможность произвести автоматический расчет сечений плотины с требуемым шагом и использовать результаты для расчетов при моделировании и прогнозе прорывных процессов.

Выводы

Апробация предложенной методики доказала ее применимость для оперативного картографирования условий формирования селей. Основные ее особенности заключаются в применении ГИС на всех этапах разработки содержания карты и использования новейших инструментальных методов и средств.

Использование параплана в качестве носителя в комплексе с наземными измерениями позволяет получить снимки приемлемого для фотограмметрической обработки качества, которые пригодны не только для ортрансформирования, но и для автоматизированного построения ЦМР. Предложенный масштаб относительно редко применяется для тематического картографирования и практически не используется для картографирования условий формирования селей. Между тем, именно на данном масштабном уровне мы имеем возможность зафиксировать состояние объекта и оценить динамику за ближайшие годы. Использование параплана, ГИС и современных программ позволяет осуществить оперативное картографирование условий формирования селей в масштабе плана.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Атлас* снежно-ледовых ресурсов мира, 1997 г., Институт океанологии РАН под редакцией В.М. Котлякова, Москва, стр. 93.

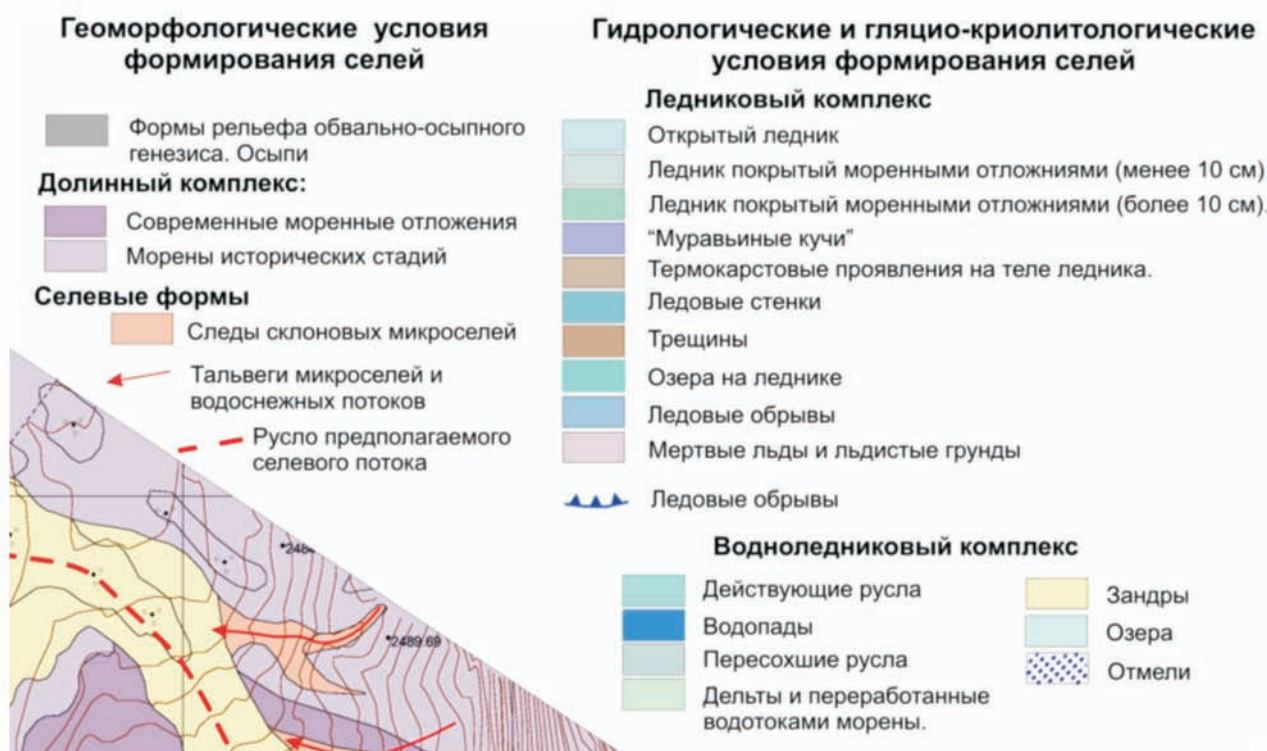


Рис. 4. Фрагмент легенды к карте условий формирования селей масштаба 1:2000

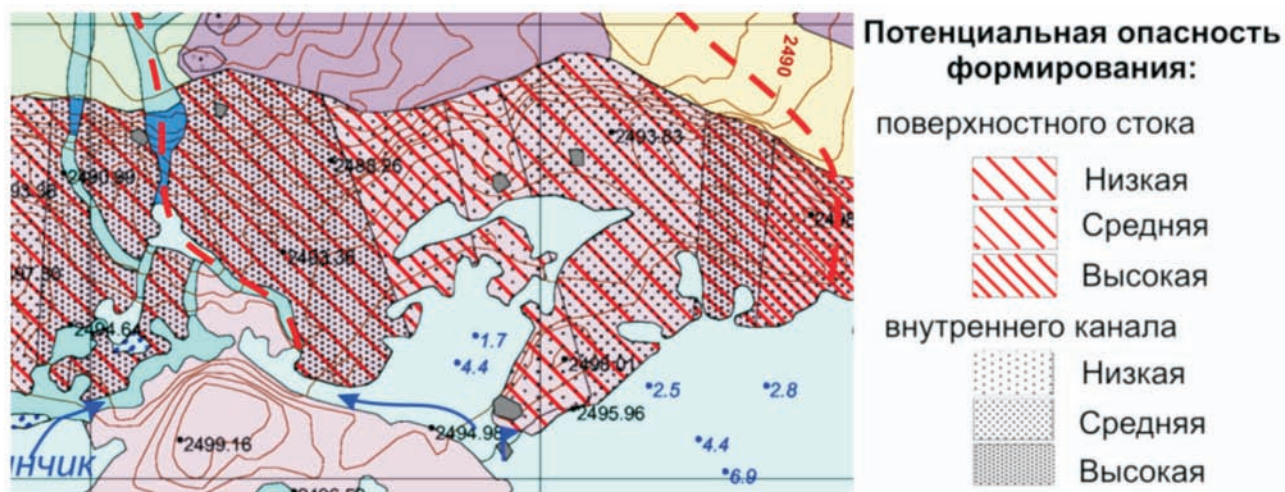


Рис. 5. Фрагмент карты и легенды к карте условий формирования селей масштаба 1:2000 на участок подпруживающей плотины

2. *Атлас* Азейбарджанской Советской Социалистической Республики ГУГК Государственного геологического комитета СССР, Баку-Москва, 1963, 77 стр.

3. *Атлас* Армянской Советской Социалистической Республики ГУГК МГиОН СССР, Ереван-Москва, 1961.

4. *Сейнова И.Б.* Селевые процессы бассейна р. Баксан в последнем тысячелетии, М 1997. – Деп ВИНТИ № 9763-В97; 295 с.

5. *Черноморец С.С.* Особенности морфолитодинамики селевых очагов центрального Кавказа после катастрофических селей М: МГУ Дис. С. 229 2004 г.