

**Б.П. Важенин**

(Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН;  
e-mail: vazhenin@neisri.ru)

## **ГРАВИТАЦИОННЫЕ ПАЛЕОСЕЙСМОДИСЛОКАЦИИ РОЯ СВЕТЛЫЙ В ВЕРХОВЬЯХ Р. АРМАНЬ (СЕВЕРНОЕ ПРИОХОТЬЕ)**

*Уточнено строение многочисленных гравитационных сейсмодислокаций комплексного роя Светлый, сочетающихся с крупными тектоническими деформациями, что повышает точность их генетической интерпретации и прогнозирования сильнейших землетрясений. Материалы статьи могут быть полезны при решении проблем безопасности техносферы от землетрясений.*

*Ключевые слова: гравитационные палеосейсмодислокации, обвалы, оползни, палеосейсмогеологическая методика, сейсмический пояс Черского, Северное Приохотье.*

**B.P. Vazhenin**

## **GRAVITATIONAL PALEOSEISMIC DISLOCATIONS OF THE SVETLY SWARM IN THE RIVERHEAD ARMAN (THE NORTHERN PRIOKHOTJE)**

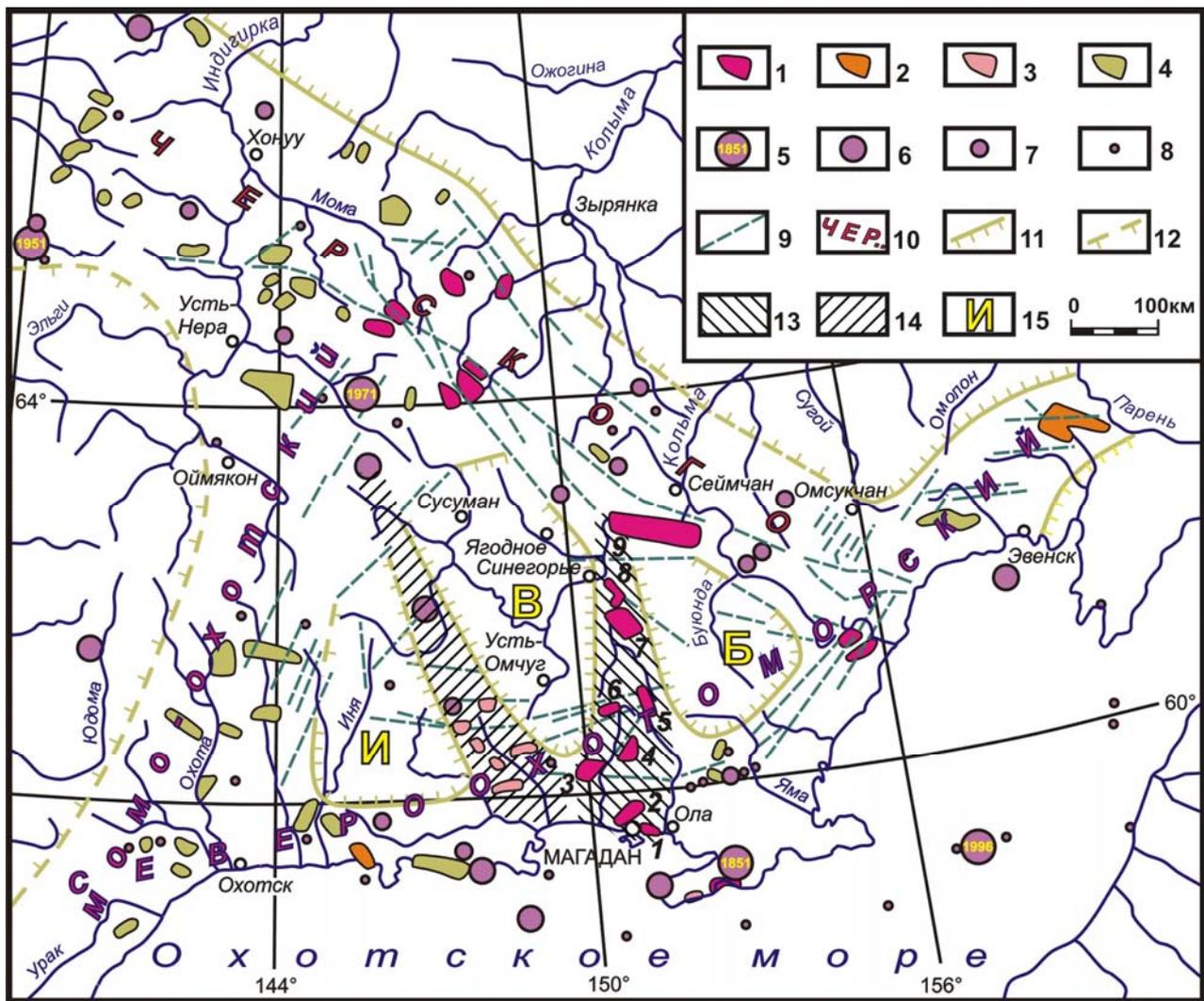
*Clarified the structure of numerous gravitational seismic dislocations complex swarm Svetly, which combined with major tectonic deformation increases the accuracy of the genetic interpretation and prediction of strong earthquakes. The material can be helpful in solving the problems of technosphere safety from earthquakes.*

*Key words: gravitational paleoseismic dislocations, rockfalls, landslides, paleoseismogeologic methods, Chersky seismicity belt, the Northern Priokhotje.*

### **Введение**

Выявление и изучение палеосейсмодислокаций – геологических следов сильнейших (с магнитудой  $\geq 6,5$ ) сейсмических событий прошлого дает ценную информацию для прогнозирования разрушительных землетрясений, отличающихся редкой повторяемостью, которая затрудняет эту задачу с использованием только сейсмостатистических инструментальных данных, так как их период в регионе не превышает 50 лет, а повторяемость разрушительных землетрясений составляет сотни и тысячи лет.

За три предыдущих десятилетия на обширной территории Магаданской области и смежных районов Якутии и Хабаровского края с применением "тотальной" палеосейсмогеологической методики [1] выявлено около 70 предполагаемых комплексных роев палеосейсмодислокаций, представляющих собой аномально плотные и компактные скопления тектонических, гравитационных и гравитационно-тектонических сейсмодиформаций на фоне их полного отсутствия на обширных смежных участках со сходным геолого-геоморфологическим строением (рис. 1).



**Рис. 1.** Зоны голоценовых и современных землетрясений в юго-восточной половине сейсмического пояса Черского:

1-4 – рои палеосейсмодислокаций (с контурами в масштабе карты), в разной мере изученные: 1 – дистанционными и полевыми методами, 2 – дистанционно и аэровизуально, 3 – дистанционно с разрешением около 1 м, 4 – дистанционно с разрешением в первые десятки метров;

5-8 – эпицентры современных землетрясений энергетических классов: 5 – 15-го и более (с указанием даты), 6 – 14-го, 7 – 13-го – 8 – 12-го; 9 – крупные разломы, хорошо выраженные в рельефе, дешифрованные по мелкомасштабным космоснимкам; 10 – субпояса сейсмического пояса Черского, выделенные по сочетанию голоценовых разрушительных землетрясений, наиболее сильных ( $K \geq 12$ ) современных и систем крупных разломов; 11-12 – границы сейсмического пояса и субпоясов: 11 – более достоверные, 12 – менее достоверные;

13 – Арманско-Бахапчинская зона палеосейсмичности; 14 – Янская зона палеосейсмичности;

15 – слабосейсмичные "окна": И – Инское, В – Верхнеколымское, Б – Буйондинское;

1-9 – рои палеосейсмодислокаций Арманско-Бахапчинской зоны: 1 – Гертнера, 2 – Дукча, 3 – Момолтыкис, 4 – Дёл-Урэкчэн, 5 – Хурэндя, 6 – Светлый, 7 – Бахапча, 8 – Умара, 9 – Колыма (большой частью, входящий в субпояс Черского)

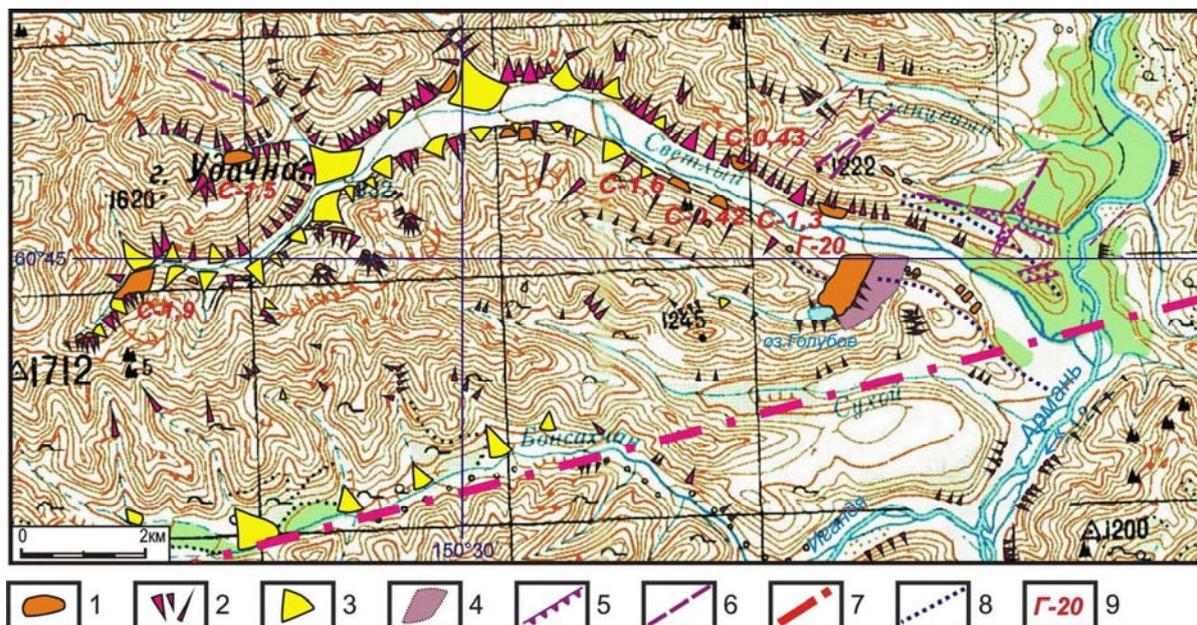
Каждый из таких роев, как показывают результаты многолетних сейсмологических исследований [2-5], является результатом и свидетельством как минимум одного разрушительного землетрясения. Более 20 из выявленных и изученных дистанционно комплексных роев палеосейсмодислокаций региона заверено полевыми работами. Выполнена их генетическая и сейсмологическая интерпретация [1].

Рои палеосейсмодислокаций и эпицентры современных сильнейших землетрясений (с энергетическим классом не менее 12) юго-восточной половины сейсмического пояса Черского (рис. 1) группируются в виде трех протяженных субпоясов: Черского, Североохотоморского и Момо-Охотского, маркируя тем самым – вместе с крупнейшими системами региональных разломов – границы Колымского сектора, выделяемого на стыке трех крупных литосферных плит – Евразийской, Североамериканской и Тихоокеанской [6]. Колымский сектор рассечен двумя узкими субмеридиональными зонами (с повышенной в них концентрацией древних землетрясений) на три довольно крупных слабосейсмичных "окна", где нет палеосейсмодислокаций и эпицентров современных ощутимых землетрясений: Инское, Верхнеколымское и Буюндинское.

Одна из этих зон – Янская, другая – Арманско-Бахапчинская. Последняя представляет собой особый интерес и в теоретическом, и в практическом отношении. В ней сосредоточены рои мощных палеосейсмодислокаций с максимальными для региона магнитудами – до 7,4 и 7,6, рассчитанными по известным формулам [5, 7]. При этом за время инструментальных наблюдений там не фиксировались землетрясения с энергетическим классом выше 11-го. То есть, она в настоящее время представляет собой зону сейсмического затишья.

Практический интерес к ней определяется тем, что на её пересечении с Североохотоморским субпоясом находится г. Магадан и ряд крупных поселков, где в общей сложности проживает более половины населения Магаданской области и находятся сейсмически уязвимые жизненно важные объекты экономической инфраструктуры: морской торговый и рыбный порты, Магаданская ТЭЦ, аэропорт, коммуникации. У северного её фланга размещаются действующая Колымская ГЭС и строящаяся Усть-Среднеканская ГЭС.

Рой Светлый Арманско-Бахапчинской зоны (рис. 2) выделяется рядом особенностей строения и размещения палеосейсмодислокаций, анализ которых важен с точки зрения оценки достоверности генетической и сейсмологической интерпретаций сейсмогенных форм рельефа и отложений, что, в свою очередь, влияет на точность прогнозирования сейсмической опасности.



**Рис. 2.** Рой палеосейсмодислокаций Светлый:

- 1 крупные скальные обвалы и оползни; 2 – обвальнo-осыпные конусы выноса; 3 – пролювиально-селевые конусы выноса; 4 – участок сеймотектонического бедленда; 5 – бровки крутых бортов сейсмо-тектонических расщелин; 6 – свежие разломы, выраженные в рельефе; 7 – Челомджа-Малтанский разлом (диной около 250 км) Нелоп-Ямской системы разломов; 8 – хорошо выраженные в рельефе, валы береговых морен; 9 – индексы крупных (до 1 млн м<sup>3</sup> и более) обвалов и оползней, где буквы "С" и "Г" означают их названия – Светлый и Голубой, соответственно, а числа – объёмы в млн м<sup>3</sup>

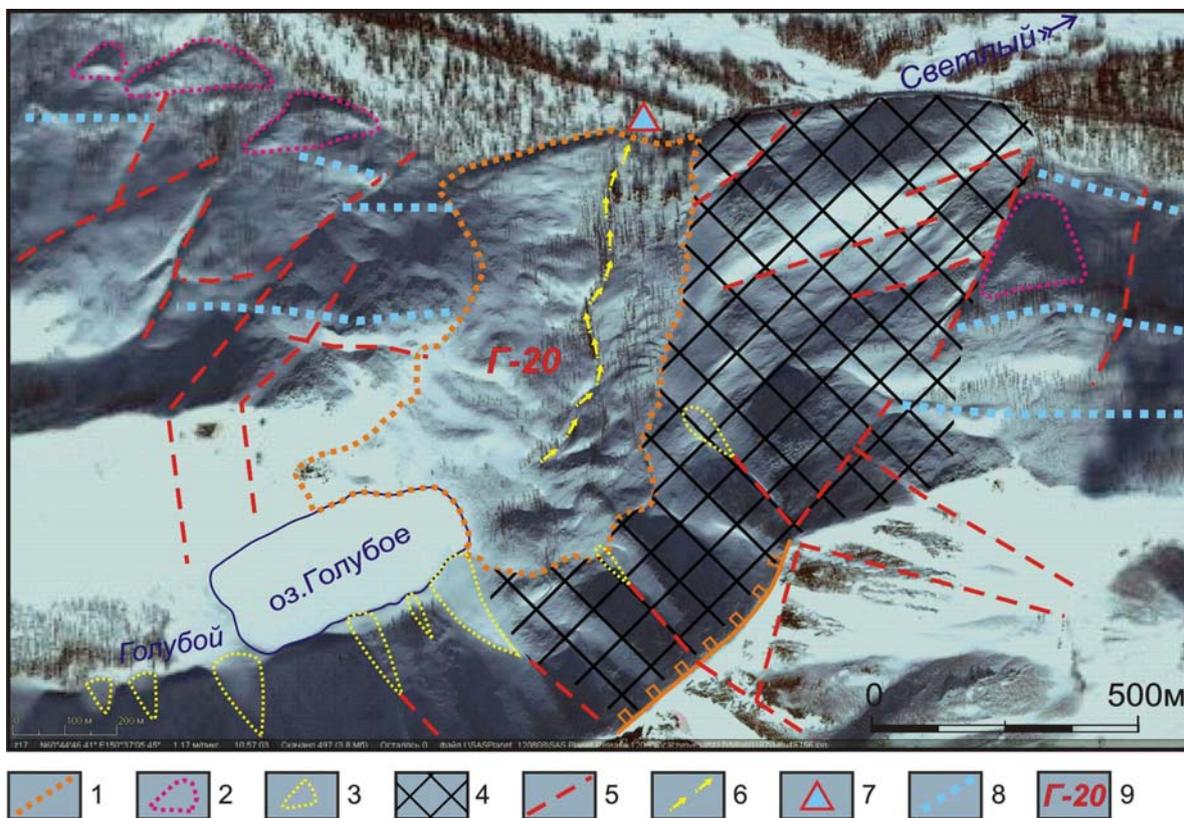
### Гравитационные палеосейсмодислокации

Рой Светлый выявлен в 1987 г. по спектрзональным стереокосмоснимкам с пространственным разрешением ~30 м в верховьях р. Армань, впадающей в Охотское море, изучен по аэроснимкам, а в 1991 г. и 2005 г. заверен полевыми работами с участием С.В. Мишина, К.Я. Гиберта, А.Г. Есипенко, Б.Г. Жуланова [1, 8]. Ныне при его дополнительном изучении использованы материалы крупномасштабных космических съемок интернет-сервисов Google Earth и SASplanet с разрешением ~1 м.

Рой Светлый содержит весьма крупный обвал Голубой-20<sup>1</sup> (рис. 3), подпрудивший оз. Голубое, 4 обвала и оползня объёмами 1-2 млн м<sup>3</sup>, более десятка мелких обвалов и оползней, а также огромное количество обвальнo-осыпных конусов выноса (рис. 2, 4), местами слившихся в непрерывный обвальнo-осыпной шлейф у подножий крутых склонов с повышенным обвальным потенциалом [9]. Обвалы Светлый-1,5 и Светлый-1,9 обнаружены А.А. Буйских по космоснимкам из сервиса Google Earth в 2010 г. Исключительное изобилие гравитационных деформаций приурочено, главным образом, к бортам 19-километровой долины руч. Светлый (прит. р. Армань). Обвалов и оползней в ближайших окрестностях за пределами долины нет, и даже количество обвальнo-осыпных конусов выноса там резко уменьшается, а еще далее они исчезают вовсе. Нет сколько-нибудь близкой по плотности концентрации гравита-

<sup>1</sup> Здесь и далее числами в названии гравитационных сейсмодислокаций указаны их объёмы в млн м<sup>3</sup>.

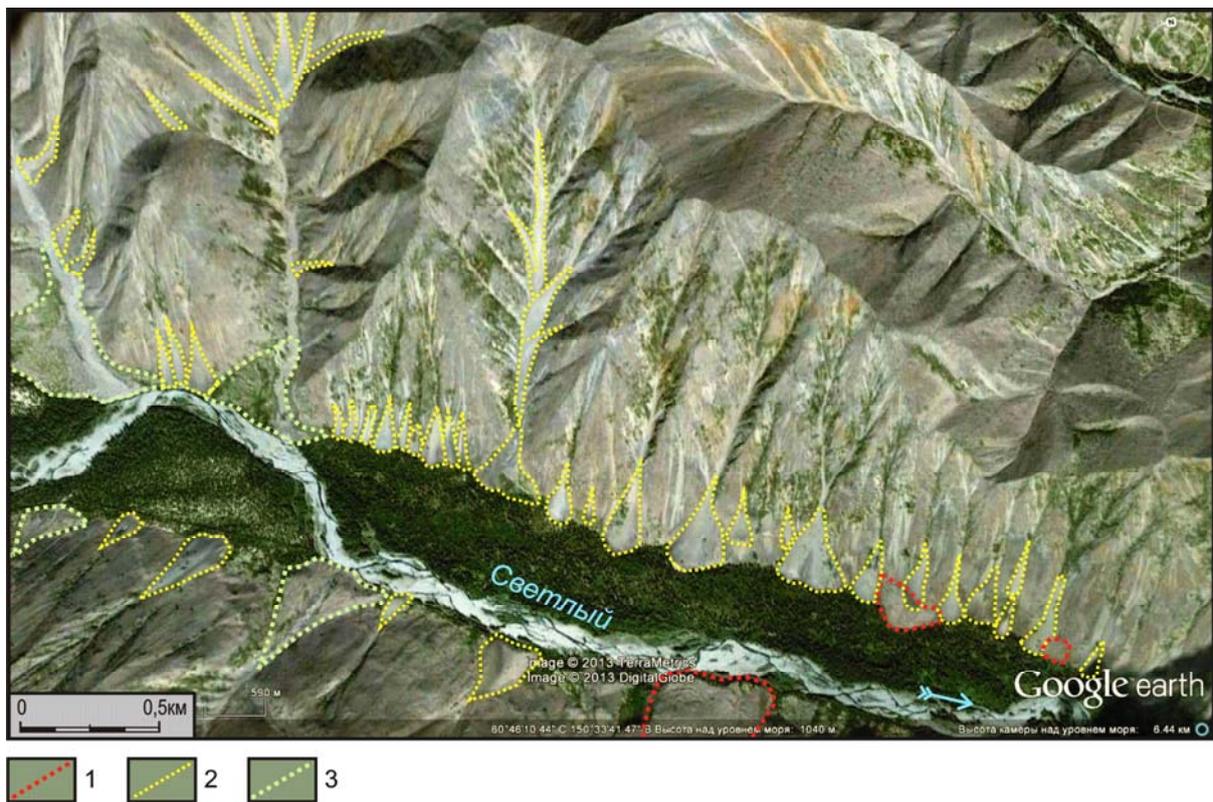
ционных дислокаций даже вдоль проходящего рядом, хорошо выраженного в рельефе, крупного Челомджа-Малтанского разлома (рис. 2). Второй особенностью роя является наличие в его составе очень крупных расщелин, рассекающих плато в водоразделе ручьев Светлый и Сланцевый, а также обширного участка тектонического бедленда в комплексе с крупным обвалом Голубой-20 (рис. 3).



**Рис. 3.** Крупный обвал Голубой-20, сложенный с поверхности остроугольными глыбами с включением единичных мелких валунов:

- 1 – контур обвала; 2 – контуры мелких ( $< 1 \text{ млн м}^3$ ) оползней, возникших при сейсмической деформации береговой морены; 3 – контуры обвально-осыпных конусов выноса;
- 4 – участок сеймотектонического бедленда; 5 – свежие разломы, выраженные в рельефе и дешифрированные по аэроснимкам и космоснимкам из интернет-сервиса Google Earth;
- 6 – суффозионная ложбина на поверхности обвала; 7 – место выхода вод, фильтрующихся под обвалом, из заблокированного им озера; 8 – валы береговых морен последнего позднелеистоценового оледенения; 9 – индекс обвала Голубой-20 объёмом около  $20 \text{ млн м}^3$

Все эти особенности представляют собой ярко выраженную геоморфологическую аномалию, которая может свидетельствовать только о сейсмическом происхождении деформаций. Некоторые сомнения в такой генетической интерпретации отмеченных деформаций рельефа и горных пород может вызвать их пространственное совпадение с ледниковыми формами рельефа, довольно хорошо сохранившимися в бассейне руч. Светлый, что и определяет необходимость дополнительного генетического анализа выявленных гравитационных, тектонических и ледниковых образований. В данной статье из-за лимита объёма рассматриваются лишь гравитационные дислокации роя.



**Рис. 4.** Аномально многочисленные обвальнo-осыпные конусы выноса в долине руч. Светлый:  
 1 – контуры малых (< 1 млн м<sup>3</sup>) обвалов и оползней;  
 2 – контуры обвальнo-осыпных конусов выноса;  
 3 – контуры пролювиально-селевых конусов выноса

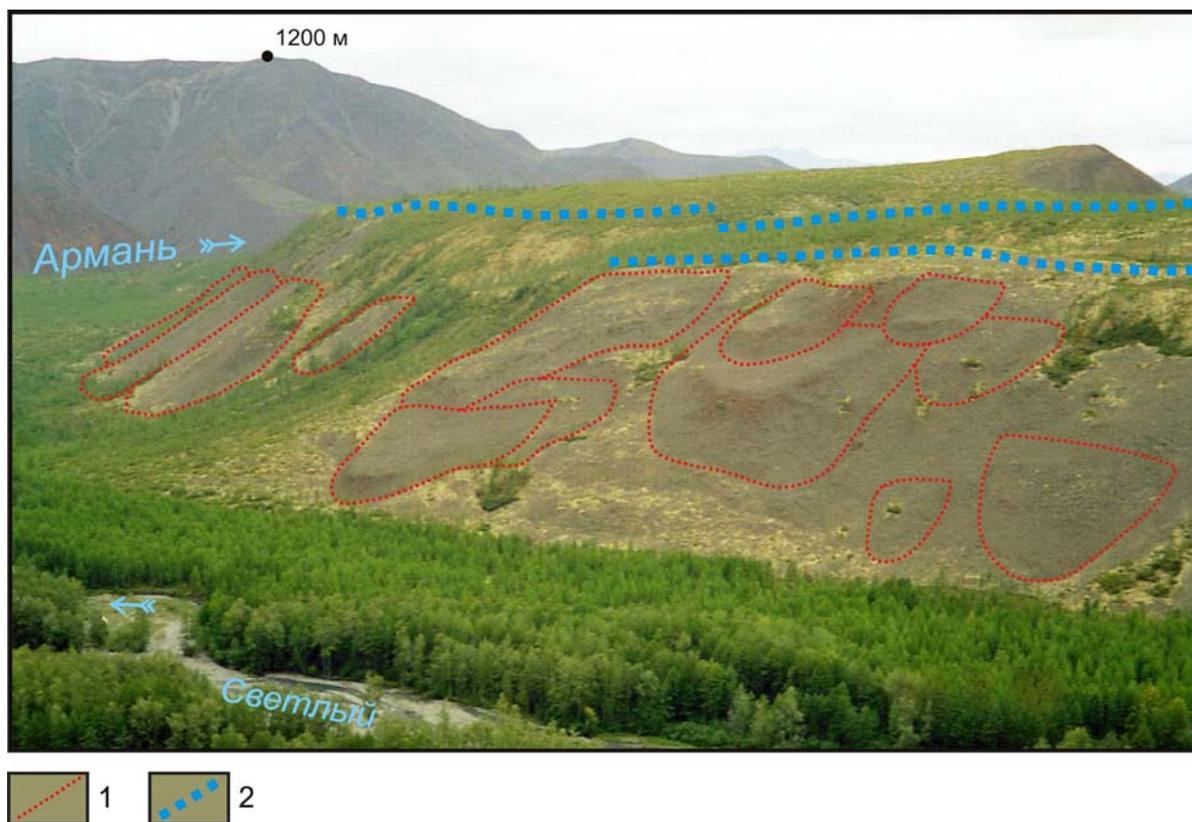
Максимальные размеры обвала Голубой-20 – 1000×340 м и превышение его тыльной части над фронтальной до 120 м – определены по космоснимкам с пространственным разрешением ~1 м из интернет-сервиса Google Earth. По его усредненным размерам, оцениваемым как 900×300×75 м, подсчитан объём завала – около 20 млн м<sup>3</sup>, что ставит его в ряд крупнейших гравитационных сейсмодислокаций Северо-Востока России с объёмами от 10 до 300 млн м<sup>3</sup>. Ранее [1, 8] публиковались несколько иные его размеры, вычисленные по измерениям на топокарте масштаба 1:100 000.

Осложняет генетическую интерпретацию обвала Голубой-20 расположение его в зоне аккумуляции обломочного материала позднеплейстоценового ледника Светлый, имевшего длину около 19 км (рис. 2, 3). На пониженных уплощенных водоразделах приустьевой части древнего трога наблюдаются в стереомодели и на местности хорошо выраженные в рельефе береговые морены (длиной до 2,5 км, шириной до 200-300 м, при мощности редко где большей 10 м), переходившие при их формировании в конечную морену. Она находилась в долине довольно многоводной р. Армань и ныне уничтожена её эрозией.

Вторая особенность, впрочем, обусловленная первой, заключается в том, что обвал Голубой-20 запрудил устьевую часть долины руч. Голубой притока руч. Светлый и при этом образовалось довольно крупное озеро (Голубое) размером  $500 \times 250$  м, что представляется аномальным с учётом маловодности ручья (длиной около 7 км) и обычно высоких фильтрационных свойств обвальных отложений [10]. Данные особенности в сочетании с не очень явственной, на первый взгляд, "обвальной" формой и невыразительным рельефом стенки срыва породили сомнения в генетической интерпретации тромба Голубой-20.

Полевое обследование показало сложение тромба Светлый-20 почти на 100 % (разумеется, с поверхности, доступной для наблюдения) из угловатых и трещиноватых глыб и щебня местных триасовых песчаников. При этом в бассейне ледо- и литосбора позднеплейстоценовых ледников Светлый и Голубой имеются достаточно большие по площади выходы позднемеловых гранитов. В результате тщательного целенаправленного поиска найдено лишь несколько валунов средней степени окатанности, очевидно, ледникового происхождения. Также подтверждено наблюдаемое на материалах дистанционных съёмки отсутствие следов перелива вод из озера через запруду и обнаружено место выхода фильтрующихся вод в виде высокодебитного источника у подножья фронтального уступа (рис. 3).

Эти детали строения не позволяют квалифицировать тромб Голубой-20 в качестве конечной морены древнего долинного ледника Голубой, аномальность объёма которой можно было бы объяснять, хотя и не очень убедительно, подпором главного ледника, занимавшего долину руч. Светлый. Анализ формы тромба и его положения в рельефе даёт возможность сделать вывод о том, что он является крупным обвалом, обрушившимся с приустьевой части правого борта долины руч. Голубой (рис. 3), где, предположительно, была вершина, существенно возвышавшаяся над современным уровнем гребневидного правого водораздела долины. Большой частью под левым бортом устьевого отрезка долины, а также, в некоторой мере, на склонах, по-видимому, располагались слившиеся конечная морена ледника Голубой и береговая морена ледника Светлый. При сильном голоценовом землетрясении они были частично погребены огромным обвалом, а частично сброшены со склонов вместе с ним. Пример сейсмической деформации береговой морены показан на рис. 5. Древнеледниковая морфоскульптура почти на всем протяжении приустьевой части правого борта долины руч. Светлый осложнена более поздней – постледниковой – оползневой морфоскульптурой. На нижних частях бортов древней троговой долины залегают малые сейсмооползни объёмами менее  $1 \text{ млн м}^3$ . Они имеют характерную для данных геоморфологических условий террасовидную, сегментную в плане форму с дугообразным контуром бровки крутого фронтального уступа, с пологой тыльной гранью и со следами перемещения обломочного материала на флангах, связывающими обвалы с нишами отрыва и стенками срыва. Такие же сейсмооползни, деформирующие береговые морены, закартированы и на других участках долины руч. Светлый (рис. 2).



**Рис. 5.** Малые ( $< 1 \text{ млн м}^3$ ) оползни, возникшие при сейсмической деформации береговой морены на правом борту приустьевой части долины руч. Светлый:  
1 – контуры оползней; 2 – валы береговых морен последнего позднеплейстоценового оледенения

Подобная деструкция береговой морены произошла при современном сильном ( $M = 7,3$ ,  $H = 16 \text{ км}$ ) землетрясении на Алтае в 2003 г., когда образовался крупный (объёмом около  $6 \text{ млн м}^3$ ) Бельтирский сейсмооползень (рис. 6) в долине р. Талдура (басс. рр. Чуя, Катунь).



**Рис. 6.** Крупный Бельтирский сейсмооползень объёмом около  $6 \text{ млн м}^3$ , возникший на Алтае в результате сильного землетрясения 2003 г. ( $M = 7,3$ ,  $H = 16 \text{ км}$ ). На врезке показана интенсивно дислоцированная поверхность оползня, сфотографированная в 2012 г. Она преобразуется экзогенными процессами и в скором времени приобретет такие же плавные очертания, как и древние оползни в долине руч. Светлый

Именно наличием некоторого количества ледникового материала, обладающего более высокой водоупорностью, по сравнению с обвальным, в составе тромба Голубой-20 вызвано снижение его фильтрационной способности и образование постоянного подпрудного озера, что не характерно для обычно водопроницаемых щебнисто-глыбовых обвальных плотин [10].

### Выводы

Рой Светлый примыкает с севера к хорошо выраженному в рельефе Челомджа-Малтанскому разлому длиной около 250 км (рис. 2), входящему в более крупную региональную систему субширотных разломов, трассирующихся на 380 км от истоков р. Яма до устья р. Нялоп (приток р. Иня, рис. 1). К восточному флангу этой системы помимо Светлого приурочен рой Хурэнды, а также еще слабо изученный рой Малтан, к западному – Верхний Янычан. Однако на самой линии разлома, но за пределами указанных роев, признаков голоценовой сейсмической активизации, даже в виде обвально-осыпных конусов выноса, не наблюдается. Это утверждение основано на дистанционном изучении Нялоп-Ямской зоны, дополненном полевыми наблюдениями в шести местах пересечения. Кроме того, рой Светлый входит в поперечную, по отношению к Нялоп-Ямской системе разломов, меридиональную Арманско-Бахапчинскую зону палеосейсмодислокаций, которая не связана с одноранговыми, хорошо выраженными в рельефе, молодыми разломами.

Небольшую площадь роя, резкое убывание крупности гравитационных дислокаций к его периферии и наличие тектонических дислокаций только в центре можно расценивать как свидетельства малой глубины очага древнего землетрясения – не более 10-15 км.

Непрерывной серии свежих, протяженных, выраженных в рельефе, разломов в пределах роя Светлый не обнаружено, поэтому рассчитать магнитуду древнего землетрясения по длине тектонических сейсмодислокаций по известным формулам [5] нельзя. Магнитуда ( $M = 0,5 \lg S + 5,9$  [7]), вычисленная по площади роя сейсмодиформаций ( $190 \text{ км}^2$ ), ограниченной ареалом сейсмогенных и субсейсмогенных гравитационных и тектонических деформаций, составила 7,0, что выше прежней [1] оценки – 6,9.

Возраст роя оценивается по признакам постсейсмической эволюции палеосейсмодислокаций в диапазоне от нескольких тысяч лет до 10 000 лет. Минимальный предел определяется по выработке довольно глубоких суффозионных ложбин на обвале Голубой-20, по высокой степени задернованности его поверхности и освоенности древесно-кустарниковой растительностью; максимальный – по многочисленным сейсмогенным оползневым деформациям береговых морен последнего позднеплейстоценового оледенения, деградировавшего около 10 000 лет тому назад.

## Литература

1. **Важенин Б.П.** Принципы, методы и результаты палеосейсмогеологических исследований на Северо-Востоке России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2000. 205 с.
2. **Солоненко В.П.** Определение эпицентральных зон землетрясений по геологическим признакам / Изв. АН СССР. Сер. геол. 1962. № 11. С. 58-74.
3. **Гоби-Алтайское** землетрясение / Под ред. Флоренсова Н.А., Солоненко В.П. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 391 с.
4. **Живая тектоника**, вулканы и сейсмичность Станового нагорья / Солоненко В.П., Тресков А.А., Курушин Р.А. и др. М.: Наука, 1966. 230 с.
5. **Современная динамика** литосферы континентов. Методы изучения / Под ред. Логачева Н.А., Хромовских В.С. М.: Недра, 1989. 287 с.
6. **Важенин Б.П.** Сейсмичность Колымского сектора // Проблемы сейсмичности Дальнего Востока: Тез. докл. III науч. конференции. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2001. С. 16-22.
7. **Adams J.** Earthquake-dammen lake in New Zealand // Geology. 1981. Vol. 9. P. 215-219.
8. **Важенин Б.П.** Новые данные по изучению Арманско-Бахапчинской зоны палеосейсмодислокаций // Чтения памяти академика К.В. Симакова: тез. докл. Всерос. науч. конф. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2007. С. 116, 117.
9. **Важенин Б.П.** Обвальный потенциал гор // Рельеф и экзогенные процессы гор: Мат. Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвященной 100-летию со дня рождения д-ра геогр. наук, проф. Ивановского Л.Н. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2011. Т. 1. С. 24-27.
10. **Важенин Б.П.** Сценарии прорыва природных плотин в горных долинах // Мат. Всероссийской конференции с участием иностранных ученых "Процессы самоорганизации в эрозионно-русловых системах и динамике речных долин" "Fluvial systems-2012". Томск, 2012. 5 с. <http://www.channel2012.ru>.

Статья опубликована 25 марта 2013 г.