

УДК 528.88

*Т.В. Байкалова, А.В. Евтюшкин, Н.В. Рычкова*  
**Применение многовременных радарных  
 и оптических космических изображений  
 для обнаружения следов катастрофических  
 водных потоков междуречья Бия-Катунь**

В последние годы во всем мире большое внимание уделяется наблюдениям поверхности Земли с применением радиолокационных систем и, в частности, радаров с синтезируемой апертурой. Радарные системы в силу особенностей своего построения позволяют получать дополнительную информацию о состоянии земных покровов, недоступную для фотографических и сканерных оптических систем.

В развитии рельефа речных долин Алтая заметную роль сыграли озера, которые еще недавно занимали большие пространства внутригорных котловин. Интерес к древним озерам не ослабевает и сейчас, о чем свидетельствуют работы В.В. Бутвиловского, А.Н. Рудого, Г.Г. Русанова, Т.Н. Воскресенской, Г.Я. Барышникова, В.П. Галахова и др. Образование озер в плейстоцене находилось в постоянной зависимости от гляциальных, гравитационно-склоновых и флювиальных процессов, которые развивались крайне неравномерно, могли прерываться или активизироваться, следуя за климатическими и сейсмическими явлениями в горах. Особенно крупные озера образовывались, когда ледниками подпруживались выходы долин из внутригорных котловин, например, Чуйской, Курайской, Уймонской, Самахинской, Джулуккульской, Улаганской, Бертекской, Телецкой и др. Как отмечает Л.Н. Ивановский, на ледниковом Алтае трудно указать долины, где не было бы озер различных размеров [1]. По мнению А.Н. Рудого и др., суммарный объем котловинных ледниково-подпрудных озер на Алтае в максимум трансгрессии превышал 5 тыс. км<sup>3</sup>, суммарная площадь – 20–25 тыс. км<sup>2</sup> [4].

Наряду с постепенным спуском ряда котловинных озер, о которых может свидетельствовать комплекс озерных террас, происходили и геологические мгновенные прорывы. Крупные озера при прорывах деградирующих ледников вызвали грандиозные сели и наводнения. Сток осуществлялся преимущественно по крупнейшим дренажным системам – долинам Чуи, Катунь, Чульшмана, Башкауса и Бии. Масштабы механической работы прорывных потоков трудно переоценить, хотя признаки катастрофических потоков нелегко поддаются распознаванию [4].

Территории ледниковой и приледниковой зон, подвергшиеся многократному воздействию катастрофических потоков, формируются тремя типами рельефообразующих процессов: диллювиальной эрозии, диллювиальной эвразии и аккумуляции [7].

Диллювиальная эрозия приводит к образованию глубоких ущельев на пути мощных кратковременных потоков воды (ущелья прорыва). Крупнейшими ущельями прорыва на Алтае являются большинство каньонов Джасатора – Аргута, Ак-Алахи, Башкауса, Чульшмана, верховьев Катунь и др.

При сбросах части озерных вод через местные водоразделы и перевальные седловины нередко возникали кратковременные, но исключительно энергичные водопады. Как утверждает А.М. Малолетко, некоторые из таких диллювиально-эвразийных впадин сейчас заняты озерами. Примером могут служить оз. Ая, эвразийные впадины «Мохового болота» и Пионерской, которые расположены на левом берегу Катунь в 30 км выше пос. Платово [8; 9].

Следы существования катастрофических сбросов огромных масс воды из ледниково-подпрудных озер в виде гигантских знаков ряби течения (ряды серповидной формы, ориентированные субперпендикулярно простиранию долины) были обнаружены Г.Я. Барышниковым в долине Бии, В.В. Бутвиловским, П.А. Окишевым и А.Н. Рудым – в долинах Башкауса, Чульшмана, Чуи, Катунь и на днище Курайской котловины [2; 5; 10]. Скорость потока, рассчитанная с помощью комплекса программ НЕС-2 (Корпус военных инженеров США), в районе прорыва плотины, которая подпруживала р. Чую при выходе из Курайской котловины (Маашейский прорыв), составила 45 м/с [17]. Компьютерный анализ морфометрических характеристик магистральной долины стока самой крупной Чуйско-Курайской системы ледниково-подпрудных озер на Алтае, водный запас которых составлял не менее 1000 км<sup>3</sup>, позволил получить данные о максимальных расходах потока – около 18 млн м<sup>3</sup>/с [8]. Исходя из гидравлических характеристик потока и объема спущенных бассейнов, длительность формирования гигантских знаков ряби в райо-

не с. Платово, как и впадин «Мохового болота», оз. Ая и Пионерская, составляла около 20 суток. Такая же модель применялась для расчета гидравлических параметров флэдстримов из оз. Миссула в Западной Монтане [17].

Подъем уровня Телецкого озера выше современного на 210 м связывают с потеплением климата, отступанием ледника и наличием моренной запруды в верховьях Бии. Кроме того, в увеличении объема воды существенную роль сыграли прорывы ледниково-подпрудных озер в бассейнах рек Башкауса и Чулышмана [4]. Глубины суперрек во время сброса доходили до 60 м, скорость течения – до 30–40 м/с [16]. Переполнение ванны Телецкого озера создали условия для катастрофического сброса вод и рыхлого обломочного материала в виде селевого потока, скорость которого составила 7–7,5 м/с [3].

Однако, наряду с изучением механизма перемещения материала в долинах рек в результате прорыва плотин ледниково-подпрудных и моренно-подпрудных озер и выявлением их географического местоположения, крайне важно знать время существования таких катаклизмов. Радиоуглеродный анализ озерных отложений в долине Катуня по р. Иня, проведенный В.А. Паньчевым, позволил установить абсолютный возраст осадков по  $C^{14}$  2335±400 лет (СОАН-2239) [11]. Эта дата согласуется с данными А.Н. Рудого, изучившего осадки озерного типа, образование которых связано с накоплением воды в Чуйском палеозере [6]. Радиоуглеродная дата в 2530±600 лет (МГУ-ИО АН-65) подтверждает это. В бассейне Бии в районе с. Новотроицкого по р. Пыжа на основании радиоуглеродного датирования древесины, извлеченной у уреза воды из тонкослоистых озерных глин, абсолютный возраст отложений составил 1612±80 лет (СОАН-1864) [11]. Таким образом, анализируя приведенные выше геоморфологические особенности образования палеозер, а также радиоуглеродные датировки отложений, можно утверждать, что около 25 тыс. лет назад по долине Катуня прошел водный поток, образованный прорывом Чуйско-Курайской системы ледниково-подпрудных озер. В долине Бии подобное явление произошло около 17–20 тыс. лет назад в результате прорыва Телецкого озера.

Анализ результатов исследований, приведенных в публикациях авторов, занимающихся проблемой механизма формирования и прорыва палеозер, показал, что основное внимание уделялось процессам преобразова-

ния рельефа речных бассейнов в пределах Горного Алтая. Однако В.В. Бутвиловский считает, что пронесшись по горам, потоки выходили на равнину, создавая крупные наводнения. Следы их в виде широкого песчаного шлейфа с валунами шириной 30–40 км, перекрывающего древний террасовый рельеф, тянутся от Бийска до Колпашева Томской области [12].

В настоящее время среди геологов и геоморфологов нет единого мнения в вопросах генезиса рельефа долин Бии и Катуня и степени влияния на его развитие катастрофических паводков, особенно в пределах Предалтайской равнины. В данной работе за основу принимаются результаты исследований состава и возраста аллювиальных отложений высоких террас Бии и Катуня, полученные В.А. Паньчевым в ходе их радиоуглеродного датирования [13].

Анализ радиоуглеродных датировок цоколя III эрозионно-аккумулятивной «боровой» террасы (25 м) Бии в районе Волчьего Лога и с. Больше-Енисейского может служить основанием для вывода о том, что ее образование началось около 19–22 тыс. лет назад, т.е. после прорыва Телецкого моренно-подпрудного озера. Наличие в строении террасы ледниковых отложений в виде промытых морен и флювиогляциальных галечников указывает на тесную связь с развитием и динамикой ледниковых процессов. Можно предположить, что впоследствии слои террасовых отложений неоднократно промывались водными потоками при прорывах моренно-подпрудных озер, образованных в притоках основной реки. Например, радиоуглеродная датировка аллювиальных отложений кровли террасы свидетельствует о подъеме уровня Бии выше 25 м отметки всего 10 тыс. лет назад. Следы этого подъема в виде отпечатков старых русел распознаются на высоких террасах в районе сел Большеутренево и Лебяжье. Террасы Катуня имеют морфологически четкие уступы, что указывает на их сравнительно молодой возраст. Так, например, для перигляциальных отложений IV 50-метровой террасы Катуня в районе с. Маймы известна радиоуглеродная дата 1389±200 лет (ЛГ-92). Следовательно, она образовалась уже после прорыва Чуйско-Курайской системы ледниково-подпрудных озер. Время образования «бийской» (60–80 м) террасы, которая является общей для Бии и Катуня, В.А. Паньчев устанавливает в интервале 213–55 тыс. лет назад [13]. Можно предположить, что до начала формирования III эрозионно-аккумулятивной террасы Бии в период 55–20 тыс. лет назад в долине этой реки уже существовали террасы

более низкого уровня, которые впоследствии были смыты катастрофическим потоком. Подобный процесс мог произойти и в долине Катунь.

Однако В.В. Бутвиловский абсолютно прав, утверждая, что катастрофические водные потоки не могли не оставить следов на равнинных участках, особенно, если принять во внимание гидротехнические расчеты объема, скорости и мощности Чуйско-Курайского и Телецкого потоков, приведенные выше. Максимальное воздействие на рельеф Предалтайской равнины выходящие из горных речных долин потоки могли оказать в районе междуречья Бия-Катунь, поэтому этот участок был выбран в качестве исследуемой территории.

В процессе работы использовались данные, полученные различными космическими системами дистанционного зондирования в разных зонах электромагнитного спектра, комплексная обработка которых позволяет получать многоуровневую информацию о свойствах, состоянии и распространении изучаемого явления в целом:

- фотографические спектрозональные изображения Ф1М, масштаб – 1:200000;
- сканерные изображения МСУ-Э, разрешение – 45 м, спектральные каналы – 0.5–0.6, 0.6–0.7, 0.8–0.9, мкм, система «Ресурс»;
- сканерные изображения МСУ-СК, разрешение – 145 м, спектральные каналы – 0.5–0.6, 0.6–0.7, 0.7–0.8, 0.8–1.0, 10.3–11.7 мкм, система «Ресурс»;
- радиолокационные изображения SIR-C/L-SAR (РЛИ), разрешение – 12.5 м, длина волны С-канал – 6 см, L-канал – 24 см, поляризация сигнала – VV, HH, HV, угол визирования 30° и 60°, система Space Shuttle.

При визуальном дешифрировании радиолокационных изображений исследуемой территории было обнаружено, что поверхность «бийской» террасы осложнена грядовым рельефом, который выделяется за счет максимального отражения излучения от стенок гряд, обращенных к приемной антенне радиолокатора. Синтез по каналам R, G, B трех РЛИ от 7 октября 1994 г., имеющие разные длины волн и плоскости поляризации сигнала {Lhv, Lvv, Chv}, в процессе обработки в пакете ENVI 3.2 показал, что в плане гряды имеют форму конуса. Коническая форма грядового рельефа просматривается на синтезированных изображениях {Lhv, Lhh, Chv} от 16 апреля 1994 г. за счет минимального отражения радиоизлучения от переувлажненной почвы. При полевых исследованиях, проведенных весной 1999 и осенью

2000 гг., было установлено, что максимальные высоты приходится на основания конусов, а их относительная высота изменяется от 1 до 10 м. Линейные размеры самые различные, иногда могут достигать нескольких гектаров



Рис. 1. Грядовый рельеф междуречья Бия-Катунь (наземные данные)

(рис. 1). Склоны повышенных участков достигают крутизны 7–10°. В основании бортовых частей конусообразных гряд лежат глины или илистые образования. Участки, находящиеся между повышениями, представляют собой равнину с сильно развитым микрорельефом, который представлен замкнутыми понижениями различных размеров и конфигураций. Глубина понижений составляет 0.5–5.0 м. В западной части исследуемой территории западины заняты березовыми колками. Иногда межгрядовые понижения представляют собой бессточную равнину, где под влиянием поверхностного увлажнения формируются переувлажненные полугидроморфные (лугово-черноземные) почвы (рис. 2). Гряды интенсивно распахивают-



Рис. 2. Переувлажненная почва в межгрядовых западинах (наземные данные)

ся, однако почвы, сформировавшиеся здесь, имеют облегченный механический состав и очень малую мощность гумусового горизонта. Распределение почвенных выделов анализировалось на изображении, пересчитанном в картографическую проекцию Гаусса-Крюгера и совмещенном с контурами почвенной карты масштаба 1:25000 в геоинформационной системе (ГИС) ArcView 3.2.

Трансформирование в проекцию топографической карты проводилось по опорным точкам в пакете программ, разработанном в лаборатории обработки изображений Алтайского государственного университета.

Некоторые исследователи в вопросах происхождения конусообразных гряд, расположенных на террасах Оби в районе оз. Уткуль, придерживаются эоловой гипотезы. Однако образование данных форм рельефа необходимо рассматривать в совокупности с процессами, происходившими на других подобных участках Алтайского края. Так, например, В.И. Кравцовой целая система конусообразных гряд, образованных древними протоками в результате стока водных масс, была исследована в месте слияния Барнаульской и Касмалинской ложбин древнего стока. Понижения между грядами заняты озерными котловинами и западинами, дно которых покрыто луговой и болотной растительностью или травянистыми осиново-березовыми лесами. Верхние части гряд заняты сухими сосновыми лишайниковыми лесами. Обнаруженная система древних проток подтверждает предположение о ведущей роли флювиальных, а не эоловых процессов в формировании ложбин древнего стока [14]. Изображения конусообразных гряд в месте слияния ложбин древнего стока представлены на синтезированном снимке МСУ-Э от 22 мая 1998 г. (рис. 3). Данные формы рельефа также

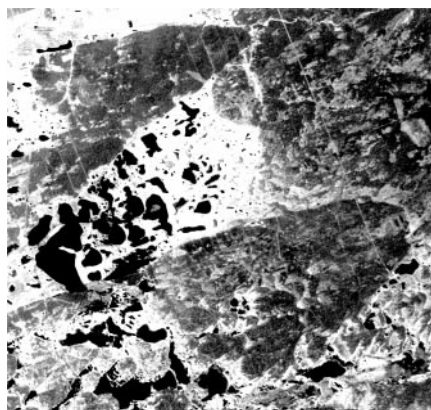


Рис. 3. Конусообразные гряды в месте слияния Барнаульской и Касмалинской ложбин древнего стока (МСУ-Э от 22 мая 1998 г.)

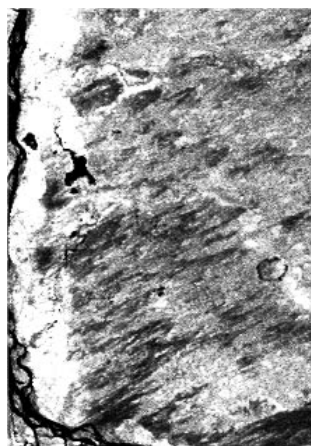


Рис. 4. Конусообразные гряды в Приобском бору (МСУ-СК от 26 июля 1998 г.)

междуречья Бия-Катунь имеют ту же природу происхождения, что и подобные образования в ложбине древнего стока. Так как по данным почвенного обследования территории возраст современной почвы не превышает 15 тыс. лет [15] и исходя из анализа установленных выше временных интервалов образования высоких террас Катунь и Бии и прорывов подпрудных озер, можно предположить, что именно катастрофические водные потоки, переплескиваясь через борта долин, явились главным преобразующим фактором рельефа междуречья. Возможно, подобный процесс повлиял на образование конусообразных гряд и в Приобском бору.

Для анализа пространственного распространения грядового рельефа 6-канальное (от 16 апреля 1994 г.) и 8-канальное (от 7 октября 1994 г.) изображения обрабатывались методом главных компонент с целью устранения шумовых эффектов, возникающих при рассеянии радиоволн. Наиболее информативной из всех полученных в ходе обработки оказалась первая компонента (рис. 5, 6). Особен-



Рис. 5. Конусообразные гряды междуречья Бия-Катунь на радиолокационном изображении от 16 апреля 1994 г. (метод главных компонент)



Рис. 6. Конусообразные гряды междуречья Бия-Катунь на радиолокационном изображении от 7 октября 1994 г. (метод главных компонент)

ности распределения и ориентации конусообразных гряд позволяют сделать вывод о том, что в междуречье рельеф формировался под воздействием двух процессов, происходивших раздельно вдоль Бии и Катунь, так как граница их распространения не выходит за пределы водораздела. Анализируя ориентацию рисунка гряд, можно утверждать, что катастрофический поток, выходя на равнину, переплескивался через правый борт долины р. Катунь, преобразуя древние аллювиальные отложения «бийской» террасы, а затем постепенно скатывался опять в реку. Но с противоположной стороны поток не выходил на поверхность коренного берега, так как здесь его следов не обнаружено. Коренные берега Бии и Катунь на радиолокационных изображениях очень хорошо отделяются от площади долин благодаря яркой бровке и наличию множества просадок, занятых березовыми колками. Конусообразные гряды дешифрируются в южной части долины на более низкой террасе, которая впоследствии интенсивно размывалась как самой Катунью, так и ее притоками, о чем свидетельствуют отпечатки старых русел в обрывистых бортах террасы внутри долины. Между притоками Песчаная и Каменка верхние песчаные части гряд заняты искусственно посаженным сосновым лесом (рис. 7). Катастрофический водный по-

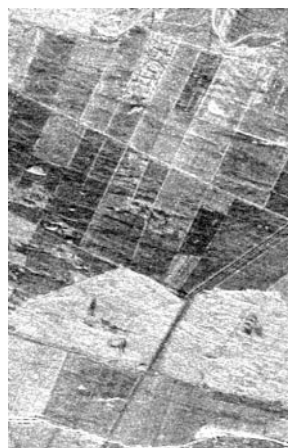


Рис. 7. Грядовый рельеф низких террас Катунь между притоками Песчаная и Каменка



Рис. 8. Конусообразные гряды на правом берегу Бии в районе с. Новая Ажинка

ток, образованный прорывом подпруды Телецкого озера, был менее мощным, чем Чуйско-Курайский, поэтому следы преобразования рельефа обнаружены на «бийской» террасе только вдоль старого русла Бии и на правом коренном берегу в районе села Новая Ажинка, где водный поток перелился через водораздел (рис. 8).

Водные потоки после прорыва подпрудных озер, образованных в притоках Бии и Катунь, возможно, промывали отложения низких террас, но не выходили на поверхности высоких террас и коренного берега. Анализ результатов синтеза 3-канального сканерного изображения МСУ-Э и визуального дешифрирования спектрального фотоснимка Ф1М междуречья показал, что конусообразные гряды плохо выделяются в оптическом диапазоне.

Таким образом, изображения с многочастотных и многополяризационных радаров с синтезированной апертурой с переменным углом наблюдения предоставляют более широкие возможности по сравнению с оптическими снимками для исследований в области геоморфологии и геологии Алтайского края.

## Литература

1. Ивановский Л.Н. Экзогенная литодинамика горных стран. Новосибирск, 1993.
2. Бутвиловский В.В. Катастрофические сбросы ледниково-подпрудных озер Юго-Восточного Алтая и их следы в рельефе // Геоморфология. 1985. №2.
3. Барышников Г.Я. Развитие рельефа переходных зон горных стран в кайнозой (На примере Горного Алтая) / Под ред. А.М. Малолетко. Томск, 1992.
4. Рудой А.Н., Галахов В.П., Данилин А.Л. Реконструкция ледникового стока верхней Чуи и питание ледниково-подпрудных озер в позднем плейстоцене // Изв. Всес. геогр. о-ва. 1989. Т. 121. Вып. 3.
5. Рудой А.Н. Гигантская рябь течения – доказательство катастрофических прорывов гляциальных озер Горного Алтая // Современные геоморфологические процессы на территории Алтайского края: Тез. докл. Бийск, 1984.

6. Рудой А.Н. Рельефообразующая роль четвертичных ледниково-подпрудных озер межгорных котловин // Процессы формирования рельефа Сибири / Под ред. Н.А. Логачева. Новосибирск, 1987.

7. Рудой А.Н. Геологическая работа четвертичных гляциальных суперпаводков. Формы дилuviальной эрозии и эвразии // Изв. РГО. 2001. Т. 133. Вып. 4.

8. Малолетко А.М. О происхождении Майминского вала (Алтай) // Вопросы географии Сибири. Томск, 1980. Вып. 13.

9. Барышников Г.Я. К вопросу о формировании крупновалунного аллювия р. Бии // Геология и полезные ископаемые Алтайского края: Тез. докл. науч.-практ. конф. Барнаул, 1979.

10. Бутвиловский В.В. Палеогеография последнего оледенения и голоцена Алтая: событийно-катастрофическая модель. Томск, 1993.

11. Паньчев В.А., Барышников Г.Я., Орлова Л.А. Определение скоростей врезания рек Горного Алтая с использованием археологических данных и

методов радиоуглеродного датирования органических остатков // Прикладная геоморфология и неотектоника юга Восточной Сибири: Тез. докл. Иркутск, 1988.

12. Бутвиловский В.В. Доказательства катастрофических прорывов и стоков вод позднеплейстоценовых ледниковых озер Горного Алтая // Вопросы географии Сибири. Томск, 1987. №17.

13. Паньчев В.А. Радиоуглеродная хронология аллювиальных отложений Предалтайской равнины. Новосибирск, 1979.

14. Кравцова В.И. Исследование природной среды космическими средствами // Геология и геоморфология. М., 1973.

15. Материалы почвенного обследования территории Алтайского края. М., 1985.

16. Pardee J.T. The glacial Lake Missoula, Montana // J. Geology. 1910. Vol. 18.

17. Baker V.R., Benito G., Rudoy A.N. Paleohydrology of Late Pleistocene Superflooding, Altai Mountains, Siberia. Science, 1993. Vol. 259.