



УДК 551.43

DOI 10.52575/2712-7443-2022-46-1-26-39

Устойчивое развитие современного рельефа в зоне сочленения Чуйской и Курайской внутригорных впадин (Горный Алтай)

Лапин П.С.

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука
Сибирского отделения Российской академии наук,
Россия, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3
Email: LapinPS@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Работа является продолжением ранее проведенных исследований по выявлению морфогенетических особенностей развития современного рельефа в зоне сочленения Чуйской и Курайской внутригорных впадин (Горный Алтай), в которых установлены морфогенетические особенности в развитии рельефа и выявлена область интенсивного развития современных рельефообразующих процессов. В данной работе в пределах районов осуществлен детальный анализ взаимозависимостей между морфотипами, что позволило ранжировать их по степени устойчивости. Актуальность работы определяется необходимостью дальнейшей разработки критериев оценки современного состояния рельефа земной поверхности, которое определяется деятельностью экзогенных и эндогенных процессов. В пределах районов выявлены фации устойчивого развития разного иерархического уровня. В нашем случае фация – элементарная природная геосистема, характеризующаяся однородными геолого-геоморфологическими условиями, которые контролируются ведущим современным рельефообразующим процессом. Установлено, что наличие в пределах области большого числа морфотипов, характеризующих её неустойчивое развитие, не является основным признаком интенсивности рельефообразующих процессов. Совместный пространственный анализ морфотипов устойчивого и неустойчивого развития позволил выявить область интенсивных и устойчиво протекающих процессов рельефообразования.

Ключевые слова: морфометрические показатели, денудация и эрозия рельефа, морфогенетический ряд, регрессионный анализ, современный морфогенез, цифровая модель рельефа

Для цитирования: Лапин П.С. 2022. Устойчивое развитие современного рельефа в зоне сочленения Чуйской и Курайской внутригорных впадин (Горный Алтай). Региональные геосистемы, 46(1): 26–39. DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-26-39

Development of Modern Relief in the Joining Area of the Chuya and Kurai Intermountain Depressions (Mountain Altai)

Pavel S. Lapin

Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics
of the Siberian Branch of the RAS,
3 Ac. Koptuyuga Ave., Novosibirsk 630090, Russia
Email: LapinPS@ipgg.sbras.ru

Abstract. The work is a continuation of earlier studies to identify morphogenetic features of the development of modern relief in the area of the junction of the Chuya and Kurai intragonal depressions



(Altai Mountains), which allowed us to establish morphogenetic features in the development of relief and to identify the area of intensive development of modern relief-forming processes. In this paper, a detailed analysis of the interdependencies between morphotypes was carried out within the districts, which made it possible to rank them according to the degree of stability. The relevance of the work is determined by the need for further development of criteria for assessing the current state of the relief of the Earth's surface, which is determined by the activity of exogenous and endogenous processes. Facies of sustainable development of different hierarchical levels have been identified within the districts. In our case, facies is an elementary natural geosystem characterized by homogeneous geological and geomorphological conditions, which are controlled by the leading modern relief-forming process. It is established that the presence within the region of a large number of morphotypes characterizing its unstable development is not the main sign of the intensity of relief-forming processes. A joint spatial analysis of the morphotypes of stable and unstable development allowed us to identify the area of intensive and stable processes of relief formation.

Keywords: morphometric indicators, denudation and relief erosion, morphogenetic series, regression analysis, modern morphogenesis, digital elevation model

For citation: Lapin P.S. 2022. Development of Modern Relief in the Joining Area of the Chuya and Kurai Intermountain Depressions (Mountain Altai). *Regional Geosystems*, 46(1): 26–39 (in Russian) DOI: 10.52575/2712-7443-2022-46-1-26-39

Введение

За последние 20 лет резко возрос интерес к изучению Курайской и Чуйской межгорных впадин. Он обусловлен произошедшим в 2003 г. Чуйским землетрясением. Проводятся комплексные исследования: тектонические [Буслов и др., 2013; Ветров и др., 2016], морфотектонические и неотектонические [Новиков и др., 2008; Новиков, Поспеева, 2017], [Агатова и др., 2019], на современном этапе – геодезические [Михайлов и др., 2010] и геотермические [Малолетко, 2006]. Проводятся работы по установлению структурной неоднородности объекта исследования [Поспеева, Потапов, 2021]. Анализу же современных рельефообразующих процессов уделяется меньшее внимание, а они, как известно, активно реагируют на проявления сейсмичности, которая в пределах зоны сочленения Курайской и Чуйской межгорных впадин достаточно высока. В геоморфологии при изучении современных процессов, наравне с другими методами, значительное внимание уделялось и уделяется морфометрическим методам [Караваев, Семиноженко, 2019; Харченко, 2020; Безгодова, 2021]. Из обзора С.В. Харченко следует, что за последние 20 лет особого прогресса в разработке морфометрических методов не отмечено. Основное внимание уделялось способам получения значений морфометрических показателей, построению карт и схем и их сопоставлению. Аналогичная ситуация отмечалась и ранее, а чтобы перейти от простого сопоставления морфометрических данных, разрабатывался общий показатель эрозионно-денудационного расчленения рельефа земной поверхности, обладающий эмерджентным свойством и являющийся основанием классификации рельефа земной поверхности по ведущему рельефообразующему процессу. Они были ориентированы на поиски способа оценки изменений элементов форм рельефа, происходящих под действием современных рельефообразующих процессов. Такая методика с позиций системно-формационного подхода была создана, в дальнейшем усовершенствована и применена в настоящем исследовании для анализа устойчиво развития рельефа.

В теоретической геоморфологии, как в одном из основополагающих разделов науки, который предопределяет дальнейшее её развитие, периодически происходит переосмысление накопленного материала. Это относится и к исследованию устойчивого развития рельефа на основе методов генетической морфологии и морфометрии. Анализ особенностей развития рельефа является составной частью ландшафтного районирования. В физической географии устойчивому развитию ландшафтов уделялось пристальное внимание [Арманд, 1975]. Так, И.С. Щукин [1980] под устойчивостью ландшафта



понимал его способность длительно сохранять свою структуру и функциональные особенности. Н. А. Солнцев [1963] отмечал, что явления природы непрерывно развиваются, этот процесс приостановить невозможно, а искать абсолютную устойчивость бесполезно. Он считал, что устойчивость – это понятие относительное, поскольку у многих объектов разная скорость развития рельефа. В физической географии устойчивость ландшафтов очень часто оценивается по физико-географическим показателям, например, индексу биологической эффективности [Абалаков, Лопаткин, 2014]. Вместе с тем, исследования должны быть направлены не только на выявление устойчивости ландшафтов, но и на разработку возможных путей повышения их степени устойчивости. Для этого необходимо замедлить все естественно протекающие процессы (размыв, оползание, осыпи, обвалы и т. д.), а это уже задача генетической морфологии и морфометрии по оценке проявления современных рельефообразующих процессов как составной части ландшафта.

В геоморфологии задача по разработке критериев устойчивого развития рельефа была поставлена в середине прошлого века. Для решения этой задачи использовались различные методы, основанные как на морфоструктурном подходе, на выделении морфологических особенностей в строении водосборных бассейнов [Берлянт, 1984; Сетунская, 1986; Симонов, 1998], так и в рамках генетической морфологии и морфометрии [Якименко, 1990]. Эти исследования для выделения и анализа изучаемого объекта приносят субъективизм в исследования, поскольку при их проведении анализируется суммарный эффект различных критериев. При построении профилей равновесия [Сетунская, 1986] водосборный бассейн анализируется как единое целое. В действительности, в его пределах можно выделить районы различного генезиса, но уже по другим критериям. Ряд методов в рамках генетической морфологии и морфометрии [Мещеряков, 1972] основаны на поэтапном анализе морфометрических показателей и результатах полевых исследований, непосредственно направленных на установления генезиса рельефа. Ведущий рельефообразующий процесс можно определить на специальных стационарах [Ивановский, Титова, 1982; Баженова, 2007], но полученную информацию необходимо с большой осторожностью распространять на прилегающие территории. Вместе с тем, в ряде геологических дисциплин генезис выявляется из модельных построений.

Анализ взаимодействия процессов морфогенеза – одна из наиболее интересных и ещё недостаточно изученных областей геоморфологии, что заставляет исследователей периодически к ней обращаться [Тимофеев, 1972; Ласточкин, 1991; Тимофеев, 2004]. Теоретические работы [Поздняков, 1988; Уфимцев, 1994] и ряд других исследований, позволили по-иному относиться к применению в геоморфологии морфологических и морфометрических методов.

Ранее [Лапин, 2019] в пределах области сочленения Чуйской и Курайской внутривпадин (Горный Алтай) выделены морфогенетические особенности в развитии рельефа отдельных районов на основе преобладания двух групп процессов: склоновых или флювиальных. На основе синтеза районов различной генетической направленности предложена полигенетическая модель развития оврагов. Результаты моделирования позволили выявить область интенсивного развития современных рельефообразующих процессов, которая соответствует области геоморфологического риска. Напомним, что разработанная методика основана на совместном анализе морфологической триады (водораздел–склон–днище оврага) и значениях общего показателя эрозионно-денудационного расчленения рельефа, который отражает взаимодействие эндогенных и экзогенных процессов.

По результатам наших исследований, можно предложить несколько вариантов её решения. Один предполагает искусственное изменение облика земной поверхности морфотипов как составной части морфогенетического ряда, в пределах которого анализируемые значения показателей существенно отличны от расчетных, что приведет к зна-



чительной устойчивости рельефа в пределах района. Второй, если этот район устойчиво развивается относительно области (отмечено соответствие морфогентических рядов область–район), то его устойчивость можно контролировать незначительными изменениями рельефа и избежать катастрофических явлений.

Актуальность работы определяется необходимостью дальнейшей разработки критериев оценки современного состояния рельефа земной поверхности, которое определяется деятельностью экзогенных и эндогенных процессов. По аналогии с понятиями «фа́ция (ландшафтоведение)» [Щукин, 1980], «биогеоценоз» [Сочава, 1978] в работе вводится понятие фация. В нашем случае фация – элементарная природная геосистема, характеризующаяся однородными геолого-геоморфологическими условиями, которые контролируются ведущим современным рельефообразующим процессом.

Цель исследования – осуществить морфогенетическое районирование рельефа земной поверхности водораздела рек Чаган-Узун – Чуя на уровне районов и выявить в их пределах области устойчивого и неустойчивого развития.

Объекты и методы исследования

Объект исследования – водораздел между реками Чаган-Узун и Чуя – находится в зоне сочленения Курайской и Чуйской впадин (рис. 1). Анализируется рельеф земной поверхности, который может быть представлен его цифровой моделью. Методика выделения морфогенетических рядов описана нами ранее [Лапин, 2015]. Напомним, что в процессе моделирования на земной поверхности выделяются районы с соответствующими им морфогенетическими рядами. Морфогенетический ряд характеризуется определенным, упорядоченным набором морфотипов, а их анализ на уровне области или района позволил выявить морфогенетические особенности развития рельефа земной поверхности и установить область геоморфологического риска. Особенности развития рельефа на уровне области и района выделялись нами с привлечением кластерного анализа и теории графов (рис. 1).

Для выявления устойчивого развития в пределах выделенных районов анализировались уже не коды морфотипов в морфогенетических рядах, а непосредственно измеренные значения показателей. Ранее [Лапин, 2019] в пределах объекта исследования было проведено морфогенетическое районирование и выделено 29 районов. Каждый район соответствовал одному из морфогенетических рядов, которые описывали развитие рельефа земной поверхности под действием склоновых или флювиальных процессов. Морфогенетический ряд характеризовал последовательную смену морфотипов, которая происходила за счет изменения значений общего показателя эрозионно-денудационного расчленения. Последний объединяет три морфометрических показателя: густоту и глубину эрозионно-денудационного расчленения рельефа земной поверхности и максимальный угол наклона.

Предварительный анализ распределения значений показателей подтвердил правильность заданных нами моделей выделения ведущего рельефообразующего процесса и возможность использования их при достижении поставленной цели. Нами было отмечено, что в пределах района упорядоченность значений морфометрических показателей анализируемого свойства различна. Смена значений показателей связана с изменением объема материала, перемещаемого рельефообразующими процессами. Она не может быть произвольной и её изменения происходят под действием одного из ведущих рельефообразующих процессов. Эту смену проще всего оценить на основе построения модели статистического прогнозирования, а именно – регрессионной модели. Приемы и методы статистической обработки данных применяются в различных областях знания, в том числе геоморфологии, географии и нефтяной геологии.

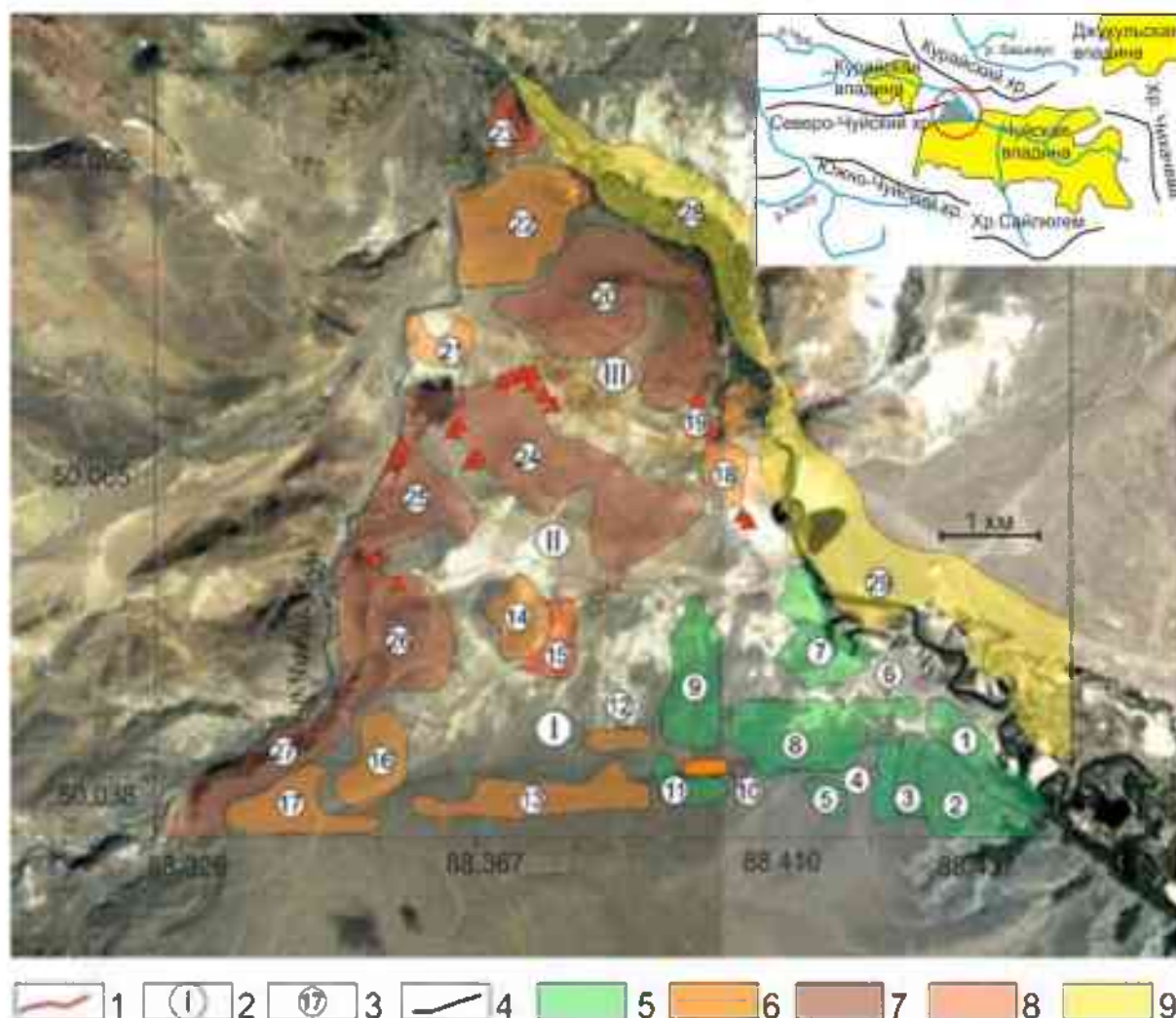


Рис. 1. Схема морфогенетического районирования водораздела рек Чаган-Узун и Чуя:
 1 – границы областей; 2 – номера областей; 3 – номера районов; 4 – границы районов;
 5 – районы с преобладанием: склоновых процессов и линейной эрозии; 6 – районы с преобладанием склоновых процессов и попятной эрозии; 7 – районы с преобладанием флювиальных процессов и параллельного отступления склонов; 8 – районы с преобладанием склоновых процессов и типичными значениями горизонтальной расчлененности рельефа; 9 – районы с преобладанием склоновых процессов и уменьшения углов наклона склонов
 Fig. 1. Scheme of morphogenetic division (zoning) into districts of a watershed of the Chagan-Uzun and Chuya Rivers: 1 – borders of areas; 2 – numbers of areas; 3 – numbers of regions; 4 – borders of regions; 5 – areas with prevalence of slope processes and a linear erosion; 6 – areas with prevalence of slope processes and a up erosion; 7 – areas with prevalence of fluvial processes and parallel retreat of slopes; 8 – areas with prevalence of slope processes with typical values of a horizontal dissection of a relief; 9 – areas with prevalence of slope processes and decrease of the inclination angles of the slopes

Кратко опишем метод аппроксимации, который применялся в настоящей работе. С его помощью можно осуществлять приблизительные подсчеты путем замены исходных объектов на более простые. Именно приближение путем упрощения и сглаживания известных значений показателей, выстраивание их в тенденцию и является основой метода. Для прогнозирования и анализа данных воспользовались средствами *Excel*. Осуществлялось построение линии тренда на основе графика функции, позволяющей выявлять общие тенденции в развитии рельефа. В своих исследованиях применили линейный вид аппроксимации. Анализовали взаимозависимость глубины эрозивно-денудационного расчле-



нения рельефа от изменения угла наклона склона или величины густоты расчленения рельефа. Сглаживание, которое используется в данном случае, описывается следующей формулой:

$$y = ax + b, \quad (1)$$

где y – значения показателя вреза гидросети относительно водораздела, а x , в зависимости от модели развития рельефа земной поверхности принимает значения густоты эрозионно-денудационного расчленения или угла наклона склона.

Вычисление разности фактических значений глубины эрозионно-денудационного расчленения со значениями, вычисленными по уравнению регрессии, дало возможность определить их отклонения. С этой целью вычислялись координаты точки пересечения двух прямых. Одна – это линия тренда, а вторая – линия регрессии параллельная оси OY , которая вычислялась по формуле:

$$x = c, \quad (2)$$

где c – координата фактического значения морфометрического показателя по оси OX . Разность фактического и расчетного значений показателя и является величиной отклонения. Анализ этих отклонений дает возможность выделять фации как устойчивые территории развития рельефа под действием ведущего процесса.

Результаты и их обсуждение

Основная задача, решаемая в настоящей работе, состояла в выявлении территорий устойчивого и неустойчивого развития с последующим их сопоставлением с областями наибольшей интенсивности проявления современных рельефообразующих процессов в пределах водораздела. Эта дополнительная характеристика в оценке развития рельефа позволила в пределах объекта исследования выделить область не только интенсивного проявления рельефообразующих процессов, но ещё и её устойчивого развития.

На первом этапе для каждого из 29 ранее выделенных районов была осуществлена линейная аппроксимация данных. Взаимозависимость между элементами в морфотипах устанавливалась непосредственно по значениям морфометрических показателей. Выявленные закономерности полностью соответствуют двум моделям развития рельефа. Так, для района с преобладанием флювиальных процессов при переходе между морфотипами оставались постоянными значения угла наклона склона, а два других параметра изменялись (рис. 2).

На рис. 2 на графике функции, где величина густоты расчленения является аргументом, а величина вреза гидросети – значением функции, достоверность аппроксимации достаточно высока ($R^2 = 0,7281$). В распределении фактических значений показателя можно заметить два отскока. Эти отскоки соответствуют реликтовой части района, которая также подвержена влиянию ведущего рельефообразующего процесса, но фактически под его действием не изменяется.

Анализ взаимозависимостей показал, что между значениями густоты расчленения рельефа и величиной наклона склона какая-либо связь отсутствует, а между величиной вреза гидросети и густотой расчленения рельефа она существует. Уравнение регрессии отражает основную тенденцию в проявлении ведущего рельефообразующего процесса. Очевидно, что чем теснее будет взаимозависимость между анализируемыми значениями, тем устойчивее будет проявляться ведущий процесс. Вычисляя отклонения реально существующих значений от расчетных, можно оценить устойчивость проявления ведущего процесса.

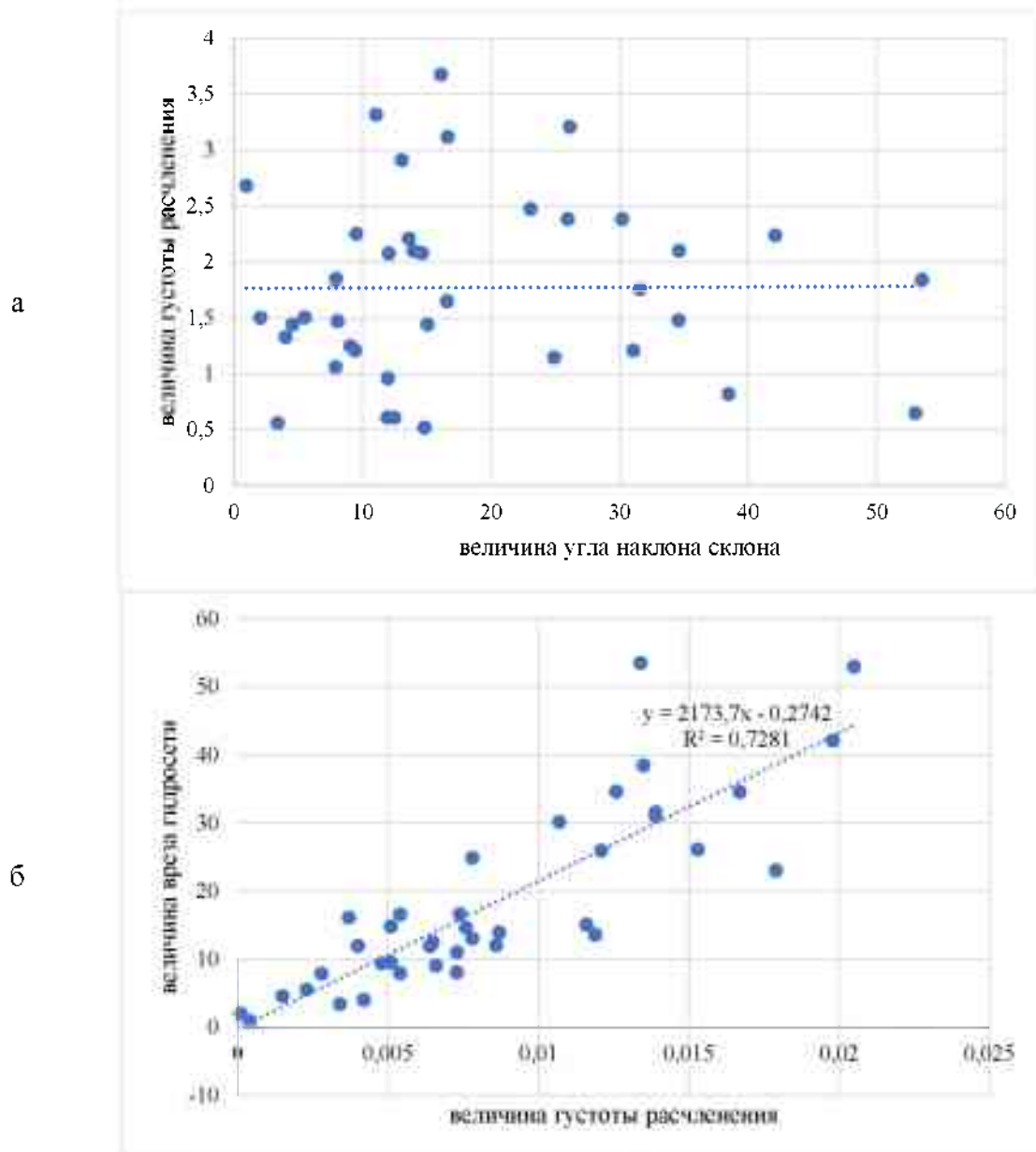


Рис. 2. Взаимозависимость анализируемых морфометрических показателей:
а – величины густоты расчленения и угла наклона склона; б – величины вреза гидросети и густоты расчленения рельефа, установленная для морфогенетического ряда одного из выявленных районов

Fig. 2. The interdependence of the analyzed morphometric indicators:
а – the values of the density of the dismemberment and the slope angle, б – the values of the cut of the hydraulic network and the density of the dismemberment of the relief, established for the morphogenetic series of one of the identified areas

На следующем этапе были вычислены отклонения фактических значений показателя глубины вреза гидросети относительно водораздела от расчетных значений. Эти отклонения определялись на основе совместного решения уравнения двух прямых: одна расчётная, вторая линия регрессии, что позволяло найти точку их пересечения и в дальнейшем определить разность фактических значений показателя величины вреза гидросети относительно водораздела от его расчётных значений (рис. 3).

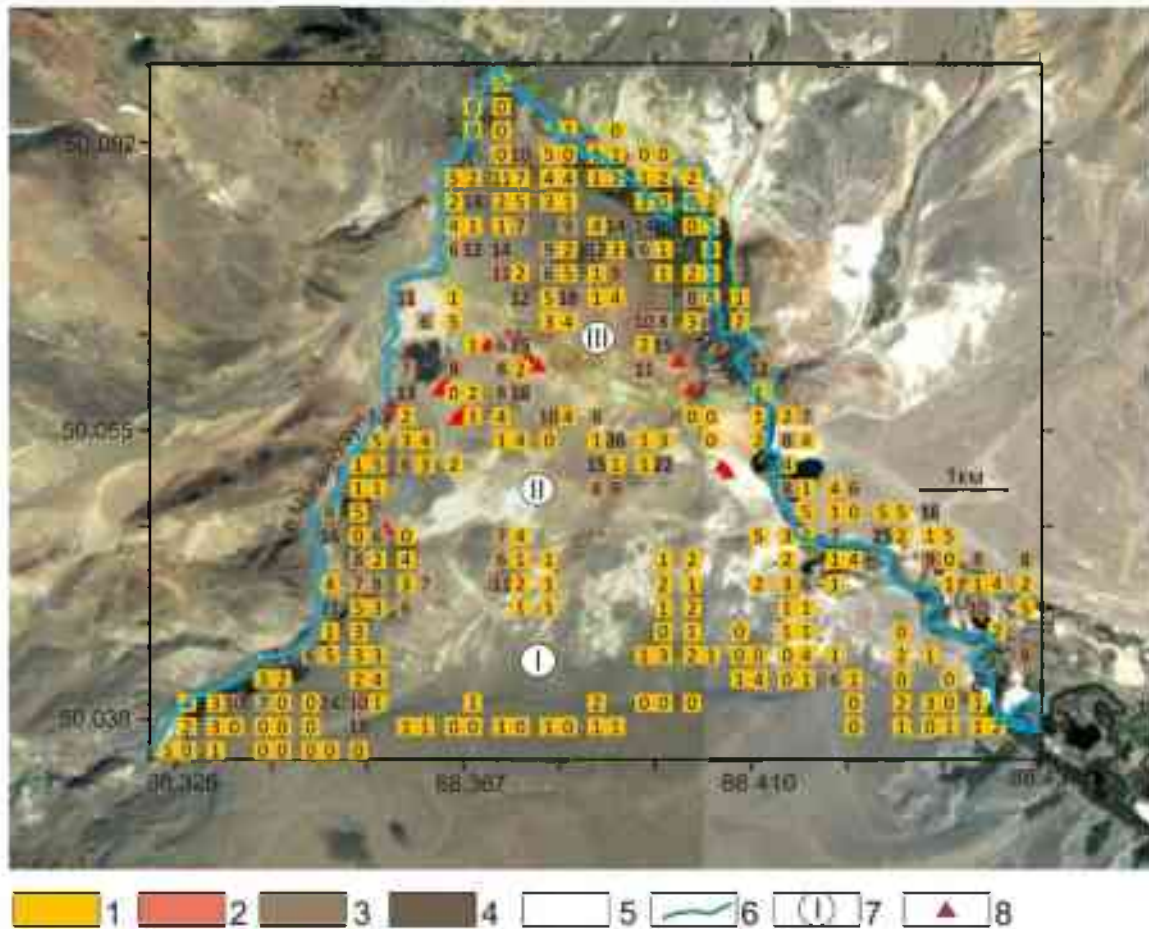


Рис. 3. Нормированные значения отклонения фактических и расчетных значений анализируемого показателя в пределах водораздела рек Чаган-Узун и Чуя: число значений отклонения по частоте встречаемости: 1 – незначительное; 2 – умеренное; 3 – значительные; 4 – очень значительные; 5 – территория с фоновым морфотипом; 6 – граница области; 7 – номер области; 8 – местоположение современных осыпей

Fig. 3. Normalized deviation values of the actual and calculated values of the analyzed indicator within the watershed of the Chagan-Uzun and Chuya rivers: the number of deviation values by frequency of occurrence: 1 – insignificant; 2 – moderate; 3 – significant; 4 – very significant; 5 – the territory with a background morphotype; 6 – the border of the region; 7 – the number of the region; 8 – the location of modern scree

Для выявления области устойчивого развития оценили частоту встречаемости морфотипов, в пределах которых установлено отклонение фактических значений показателя глубины вреза гидросети относительно водораздела от его расчетных и выяснили, что наибольшее их число соответствует интервалу отклонения 0–6 м (см. таблицу). Нами этот интервал принят как совокупность морфотипов с устойчивым развитием рельефа, который в пределах района характеризует фацию.

Если в пределах областей оценивать характер проявления рельефообразующих процессов только по числу морфотипов (125–36–62), то наибольшая степень устойчивости отмечается для области I. Такой подход к анализу данных может привести к неверному выводу, поскольку в своих исследованиях мы уже не раз находили подтверждение высказанному предположению о том, что развитие рельефа происходит за счет вовлечения в сферу деятельности ведущего процесса областей неустойчивого развития территории. Неустойчивыми являются районы с фоновым морфотипом 111 (подробнее в [Лапин, 2019]). В пределах этих районов невозможно выделить ведущий процесс.



Для увеличения достоверности полученных результатов был осуществлен совместный анализ числа морфотипов, которые характеризуют устойчивое и неустойчивое развитие рельефа.

Число встречаемости морфотипов в пределах объекта исследования и по областям
 The number of occurrences of morphotypes within the object of study and by region

Области	Число морфотипов, в пределах которых установлено отклонение фактических значений показателя глубины вреза гидросети относительно водораздела от его расчетных (м)				Число фоновых морфотипов
	Больше 12	12–9	9–6	6–0	
I	5	3	11	125	150
II	5	4	10	36	66
III	7	7	9	62	35
Объект исследования	17	14	30	223	251

Данные таблицы позволили выявить определенные тенденции в развитии современного рельефа земной поверхности. В целом, на уровне водораздела, соотношение устойчивых и неустойчивых морфотипов соотносятся как 1:1 (223:251), что свидетельствует о его больших потенциальных возможностях к развитию и изменению рельефа. Они реализуются за счет перераспределения площадей устойчивого и неустойчивого развития. В пределах изучаемого водораздела происходит большое число малоамплитудных землетрясений [Еманов и др., 2009], и наличие районов неустойчивого развития может являться, своего рода демпфером к дальнейшему изменению рельефа. Проверка этого предположения выходит за рамки поставленных в настоящей работе задач и требует проведения дополнительных исследований.

Анализ особенностей рельефообразующих процессов на уровне областей позволил установить, что развитие рельефа в пределах области I совпадает с развитием всего водораздела, а области II и III имеют свои специфические особенности развития. Область III развивается устойчиво, но в процессе развития не произойдет значительных изменений рельефа, поскольку соотношение морфотипов устойчивого и неустойчивого развития примерно составляет 2:1 (62:35). В этом случае любое внешнее воздействие на рельеф приведет, скорее всего, к большей интенсивности процессов рельефообразования в пределах фаций. В пределах области II соотношение анализируемых групп морфотипов существенно отличается от вышерассмотренных и соотносится, примерно, как 1:2 (36:66). Рельеф в пределах этой области развивается менее устойчиво, чем в областях I и III.

В пределах водораздела выделены морфотипы с большим отклонением между фактическими и теоретическими значениями анализируемого параметра. Для каждой области их число оказалось примерно равным, изменяются от 19 до 23 шт. (см. таблицу). Их количество никак не зависит от площади выделенных областей. Это артефакты, которые требуют дополнительных исследований. Можно предположить, что в пределах областей эти морфотипы соответствуют реликтовым формам рельефа.

На основе проведенных исследований ранее построенная модель развития оврага, учитывающая генетическое разнообразие территории, дополнена критерием её устойчивого или неустойчивого развития, который, на наш взгляд, должен повысить достоверность в оценке деятельности современных рельефообразующих процессов.

На первом этапе, для всех выделенных районов, со свойственными каждому из них морфогенетическими особенностями развития рельефа, реализована регрессионная модель. Она характеризует взаимозависимость значений двух показателей, которые описывают развитие рельефа под действием ведущего рельефообразующего процесса



(см. рис. 2). Далее, по результатам решения системы уравнений: из полученного уравнения регрессии и заданного параллельно оси ординат и проходящего через фактические значения анализируемых значений показателей находим точку пересечения двух прямых, что позволяет получить величину уклонения фактических значений показателя от его теоретических.

На втором этапе, по вычисленным значениям уклонений осуществлен кластерный анализ и выявлена часть земной поверхности в пределах района, которая характеризуется устойчивым развитием рельефа и названная нами фацией (см. рис. 3). Рельеф земной поверхности развивается более устойчиво, если площадь фации по своим размерам стремится к площади района, а последние – к площади области.

На завершающем этапе, из всего числа выделенных областей на основе сопоставления фаций и районов неустойчивого развития выявлена область неустойчивого развития. Полученная информация явилась существенным дополнением к ранее проведенному в пределах объекта исследования районированию, по результатам которого была выделена область II как область с минимальным морфологическим разнообразием и интенсивным проявлением современных рельефообразующих процессов. В её пределах соотношение площади устойчивого и неустойчивого развития минимально по отношению к другим областям. Любые внешние воздействия (сейсмичность, неравномерность неотектонических движений) будут приводить в пределах области к увеличению районов устойчивого развития за счет сокращения районов неустойчивого развития, и эта тенденция в развитии рельефа будет сопровождаться интенсивной деятельностью современных рельефообразующих процессов.

В заключение нами выполнена оценка достоверности полученных результатов. Верификация данных осуществлена на основе известного факта – пространственной приуроченности процесса оползнеобразования к зонам интенсивного проявления эндогенных и экзогенных процессов или их результирующей. Полученные данные хорошо согласуются с результатами, полученными из натуральных наблюдений [Достовалова, 2006] (см. рис. 3). Большинство оползней приурочены к выделенной области II, что подтверждает наши предположения о наличии в её пределах рельефообразующих процессов большей интенсивности.

Рельеф области II на современном этапе развития обладает не только значительной генетической однородностью, но и неустойчивостью этого развития, что подтверждает его высокую степень геоморфологического риска.

Заключение

В зоне сочленения Чуйской и Курайской межгорных впадин в дополнение к ранее проведенному морфогенетическому районированию получена информация о степени устойчивого развития современного рельефа, которая позволяет раскрыть многогранный характер его проявления. В результате построения регрессионной модели в пределах каждого выделенного района определен характер проявления ведущего рельефообразующего процесса. В процессе моделирования выявлены уклонения фактических и расчетных значений анализируемых показателей, позволившие осуществить фациальный анализ рельефа земной поверхности по преобладанию в пределах фации ведущего рельефообразующего процесса.

Таким образом, рельеф области II на современном этапе развития обладает не только значительной генетической однородностью, но и неустойчивостью этого развития, что увеличивает в её пределах степень геоморфологического риска. В дальнейшем полученные результаты могут быть использованы при оценке экстремальной составляющей эндогенного процесса рельефообразования и связанных с ней стихийных явлений.



Список литературы

- Агатова А.Р., Непоп Р.К., Хазин Л.Б., Жданова А.Н., Успенская О.Н., Овчинников И.Ю., Моска П. 2019. Новые хронологические, палеонтологические и геохимические данные о формировании ледниково-подпрудных озер в Курайской впадине (юго-восток Русского Алтая) в конце позднего плейстоцена. Доклады Академии наук, 488 (3): 319–322. DOI: 10.31857/S0869-56524883319-322.
- Абалаков А.Д., Лопаткин Д.А. 2014. Устойчивость ландшафтов и её картографирование. Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле, 8: 2–14.
- Арманд Д.Л. 1975 Наука о ландшафте. (Основы теории и логико-математические методы). М., Мысль, 288 с.
- Баженова О.И. 2007. Внутривековая организация систем экзогенного рельефообразования в степях Центральной Азии. География и природные ресурсы, 3: 116–125.
- Безгодова О.В. 2021. Структурно-морфометрический анализ малого речного бассейна реки Ихе-Ухгунь (бассейн реки Иркут). Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле, 37: 3–16. DOI: 10.26516/2073-3402.2021.37.3.
- Берлянт А.М. 1984. Морфометрические исследования рельефа в СССР: состояние, проблемы, перспективы. Геоморфология, 2: 15–24.
- Буслов М.М., Джен Х., Травин А.В., Отгонбаатар Д., Куликова А.В., Чен М., Семаков Н.Н., Рубанова Е.С., Абилдаева М.А., Войтишек Е.Э., Трофимова Д.А., Глори С. 2013. Тектоника и геодинамика Горного Алтая и сопредельных структур Алтая-Саянской складчатой области. Геология и геофизика, 54 (10): 1600–1627.
- Ветров Е.В., Буслов М.М., Де Гравэ И. 2016. Эволюция тектонических событий и рельефа юго-восточной части Горного Алтая в позднем мезозое-кайнозое по данным трековой термохронологии апатита. Геология и геофизика, 57 (1): 125–142. DOI: 10.15372/GiG20160107.
- Достовалова М.С. 2006. Режимобразующие факторы криогенно-напорного подтопления территории села Кош-Агач. Природные ресурсы Горного Алтая, 1: 85–89.
- Еманов А.А., Лескова Е.В., Еманов А.Ф., Фатеев А.В. 2009. Элементы структуры и фазы развития афтершокового процесса Чуйского землетрясения. Физическая мезомеханика, 12 (1): 29–36.
- Ивановский Л.Н., Титова З.А. 1982. Итоги изучения современных экзогенных процессов рельефообразования на стационарах Института географии Сибири и Дальнего Востока. География и природные ресурсы, 4: 26–33.
- Караваев В.А., Семиноженко С.С. 2019. Морфометрия рельефа и особенности селепроявления на северном склоне Большого Кавказа. Доклады академии наук, 487 (4): 438–442. DOI: 10.31857/S0869-56524874438-442.
- Лапин П.С. 2015. Выявление литодинамических потоков как один из критериев нефтегазоносности зоны контакта доюрского фундамента и осадочного чехла в Широком Приобье. Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири, 21 (1): 29–39.
- Лапин П.С. 2019. Морфогенетическая модель развития современного рельефа в зоне сочленения Чуйской и Курайской внутригорных впадин (Горный Алтай). Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 43 (4): 375–385. DOI: 10.18413/2075-4671-2019-43-4-375-385.
- Ласточкин А.Н. 1991. Рельеф земной поверхности (принципы и методы статической геоморфологии). Л., Недра, 340 с.
- Малолетко А.М. 2006. Геотермическое поле Курайской и Чуйской межгорных впадин. Природные ресурсы Горного Алтая, 2 (6): 28–30.
- Михайлов В.О., Назарян А.Н., Смирнов В.Б., Диаман М., Шапиро Н.М., Киселева Е.А., Тихоцкий С.А., Поляков С.А., Смольянинова Е.И., Тимошкина Е.П. 2010. Совместная интерпретация данных дифференциальной спутниковой интерферометрии и GPS на примере Алтайского (Чуйского) землетрясения 27.09.2003 г. Физика Земли, 2: 3–16.
- Мещеряков Ю.А. 1972. Рельеф СССР: Морфоструктура и морфоскульптура. М., Наука, 519 с.
- Новиков И.С., Еманов А.А., Лескова Е.В., Баталев В.Ю., Рыбин А.К., Баталева Е.А. 2008. Система новейших разрывных нарушений Юго-Восточного Алтая: данные об их морфологии и кинематике. Геология и геофизика, 49 (11): 1139–1149.



- Новиков И.С., Поспеева Е.В. 2017. Неотектоника восточной части Горного Алтая по данным магнитотеллурического зондирования. Геология и геофизика, 58 (7): 959–971. DOI: 10.15372/GiG20170701.
- Поздняков А.В. 1988. Динамическое равновесие в рельефообразовании. М., Наука, 207 с.
- Поспеева Е.В., Потапов В.В. 2021. Глубинное строение зон сочленения Чуйской тектонической впадины Горного Алтая с её горным обрамлением по данным магнитотеллурических исследований. Геология и геофизика, 62 (4): 584–596. DOI: 10.15372/GiG2019155.
- Сетунская Л.Е. 1986. Овражная эрозия (методы изучения). В кн.: Методы полевых геоморфологических экспериментов в СССР. М., Наука: 48–63.
- Симонов Ю.Г. 1998. Морфометрический анализ рельефа. Смоленск, Изд-во СГУ, 272 с.
- Солнцев Н.А. 1963. Некоторые теоретические вопросы динамики ландшафта. Вестник МГУ. Серия География, 2: 50–56.
- Сочава Б.В. 1978. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск, Наука, 320 с.
- Тимофеев Д.А. 1972. О некоторых геоморфологических законах. Геоморфология, 2: 3–12.
- Тимофеев Д.А. 2004. Принципы типизации геоморфологических процессов. Геоморфология, 4: 16–20.
- Уфимцев Г.Ф. 1994. Очерки теоретической геоморфологии. Новосибирск, Наука, 123 с.
- Харченко С.В. 2020. Новые задачи морфометрии рельефа и автоматизированные морфологические классификации в геоморфологии. Геоморфология, 1: 3–21. DOI: 10.31857/S043542812001006X.
- Щукин И.С. 1980. Четырехязычный энциклопедический словарь терминов по физической географии. М., Советская энциклопедия, 701 с.
- Якименко Э.Л. 1990. Морфометрия рельефа и геология. Новосибирск, Наука, 201 с.

References

- Agatova A.R., Nepop R.K., Zhdanova A.N., Ovchinnikov I.Y., Khazin L.B., Uspenskaya O.N., Moska P. 2019. New chronological, paleontological, and geochemical data on the formation of glacier-dammed lakes in the Kurai depression (southeastern Russian Altay) at the end of the late Pleistocene. Doklady Earth Sciences, 488 (1): 1134–1136 (in Russian). DOI: 10.1134/S1028334X19090228.
- Abalakov A.D., Lopatkin D.A. 2014. Mapping of Landscape Stability. The Bulletin of Irkutsk State University. Series: Earth Sciences, 8: 2–14 (in Russian).
- Armand D.L. 1975. Nauka o landshafte. (Osnovy teorii i logiko-matematicheskie metody) [Landscape Science. (Fundamentals of Theory and Logical-Mathematical Methods)]. Moscow, Publ. Myisl, 288 p.
- Bazhenova O.I. 2007. Intrasecular Organization of the Exogenous Relief-Formation Systems in the Steppes of Central Asia. Geography and Natural Resources, 3: 116–125 (in Russian).
- Bezgodova O.V. 2021. Structural and Morphometric Analysis of the Ihe-Ukhgun Small River Basin (Irkut River Basin). The Bulletin of Irkutsk State University. Series: Earth Sciences, 37: 3–16 (in Russian). DOI: 10.26516/2073-3402.2021.37.3.
- Berlyant A.M. 1984. Morfometricheskie issledovaniya rel'efa v SSSR: sostoyanie, problemy, perspektivy [Morphometric studies of the relief in the USSR: state, problems, prospects]. Geomorfologiya, 2: 15–24.
- Buslov M.M., Travin A.V., Kulikova A.V., Semakov N.N., Rubanova E.S., Abildaeva M.A., Trofimova D.A., Geng H., Ming C., Otgonbaatar D., Voitishchek E.E., Stijn G. 2013. Tectonics and geodynamics of Gorny Altai and adjacent structures of the Altai-Sayan folded area. Russian Geology and Geophysics, 54 (10): 1250–1271 (in Russian).
- Vetrov E.V., Buslov M.M., De Grave J. 2016. Evolution of Tectonic Events and Topography in Southeastern Gorny Altai in the Late Mesozoic-Cenozoic (Data from Apatite Fission Track Thermochronology). Russian Geology and Geophysics, 57 (1): 95–110 (in Russian). DOI: 10.1016/j.regg.2016.01.007.
- Dostovalova M.S. 2006. Rezhimoobrazuyushchiye faktory kriogenno-napomogo podtopleniya territorii sela Kosh-Agach [Regime-forming factors of cryogenic-pressure flooding of the territory of the village of Kosh-Agach]. Prirodnyye resursy Gornogo Altaya, 1: 85–89 (in Russian).



- Emanov A.A., Leskova E.V., Emanov A.F., Fateev A.V. 2009. Structural Elements and Phases of the Aftershock Process of the Chuya Earthquake. *Physical Mesomechanics*, 12 (1): 29–36 (in Russian).
- Ivanovskij L.N., Titova Z.A. 1982. Itogi izucheniya sovremennykh ekzogennykh processov reliefoobrazovaniya na stacionarah Instituta geografii Sibiri i Dal'nego Vostoka. [Results of the study of modern exogenous processes of relief formation at the stations of the Institute of Geography of Siberia and the Far East]. *Geografiya i prirodnyye resursy*, 4: 26–33.
- Karavaev V.A., Seminozhenko S.S. 2019. Terrain Morphometry and Mudflow Features in the Northern Slope of the Great Caucasus. *Doklady Earth Sciences*, 487 (2): 935–938 (in Russian). DOI: 10.1134/S1028334X1908004X.
- Lapin P.S. 2015. Identification of lithodynamic flows as one of the criteria for the oil and gas content of the contact zone of the pre-Jurassic basement and sedimentary cover in the Shirotnoye Ob region. *Geology and Mineral Resources of Siberia*, 21 (1): 29–39 (in Russian).
- Lapin P.S. 2019. Morphogenetic Model of Development of Modern Relief in the Joining Area of the Chuya and Kurai Intermountain Depressions (Mountain Altai). *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*, 43 (4): 375–385 (in Russian). DOI 10.18413/2075-4671-2019-43-4-375-385.
- Lastochkin A.N. 1991 *Rel'yef zemnoy poverkhnosti (printsipy i metody staticheskoy geomorfologii)* [Relief of the earth's surface (principles and methods of static geomorphology)]. Leningrad, Publ. Nedra, 340 p.
- Maloletko A.M. 2006. Geotermicheskoye pole Kurayskoy i Chuyskoy mezhgornyykh vpadin [Geothermal field of the Kurai and Chuya intermountain depressions]. *Prirodnyye resursy Gornogo Altaya*, 2 (6): 28–30.
- Mikhailov V.O., Nazaryan A.N., Smimov V.B., Kiseleva E.A., Tikhotskii S.A., Smol'yaninova E.I., Timoshkina E.P., Polyakov S.A., Diament M., Shapiro. 2010. Joint Inversion of the Differential Satellite Interferometry and Gps Data: A Case Study of Altai (Chuia) Earthquake of September 27, 2003. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, 46 (2): 91–103 (in Russian). DOI: 10.1134/S1069351310020011.
- Meshcheryakov Yu. A. 1972 *Rel'ef SSSR: Morfostruktura i morfoskop'tura* [Relief of the USSR: Morphostructure and morphosculpture]. Moscow, Publ. Nauka, 519 p.
- Novikov I.S., Emanov A.A., Leskova E.V., Batalev V.Yu., Rybin A.K., Bataleva E.A., 2008. The System of Neotectonic Faults in Southeastern Altai: Orientations and Geometry of Motion. *Russian Geology and Geophysics*, 49 (11): 859–867 (in Russian). DOI: 10.1016/j.rgg.2008.04.005.
- Novikov I.S., Pospeeva E.V. 2017. Neotectonics of Eastern Gorny Altai: Evidence from Magnetotelluric Data. *Russian Geology and Geophysics*, 58 (7): 769–777 (in Russian). DOI: 10.1016/j.rgg.2017.06.001.
- Pozdnyakov A.V. 1988. *Dinamicheskoye ravnesiye v reliefoobrazovanii* [Dynamic equilibrium in the formation of relief]. Moscow, Publ. Nauka, 207 p.
- Pospeeva E.V., Potapov V.V. 2021. Deep Structure of the Junction Zones of the Chuya Tectonic Depression and Its Mountainous Frame in Gorny Altai According to Magnetotelluric Studies. *Russian Geology and Geophysics*, 62 (4): 474–485 (in Russian). DOI: 10.2113/RGG20194078.
- Setunskaya L.E. 1986. *Ovrazhnaya eroziya (metody izucheniya)* [Gully erosion (research methods)]. In: *Metody polevykh geomorfologicheskikh eksperimentov v SSSR* [Methods of field geomorphological experiments in the USSR]. Moscow, Publ. Nauka: 48–63.
- Simonov Yu.G. 1998. *Morfometricheskij analiz rel'efa* [Morphometric analysis of the relief]. Smolensk, Publ. SGU, 272 p.
- Solncev N.A. 1963. *Nekotorye teoreticheskie voprosy dinamiki landshafta*. [Some theoretical questions of landscape dynamics]. *Moscow State University Bulletin. Series: Geography*, 2: 50–56.
- Sochava B.V. 1978. *Vvedenie v uchenie o geosistemah* [Introduction to the theory of geosystems]. Novosibirsk, Publ. Nauka, 319 p.
- Timofeyev D.A. 1972. *O nekotorykh geomorfologicheskikh zakonakh* [About some geomorphological laws]. *Geomorfologiya*, 2: 3–12.
- Timofeev D.A. 2004. Principles of Geomorphic Processes Classification. *Geomorphology*, 4: 16–20 (in Russian).
- Ufimcev G.F. 1994. *Ocherki teoreticheskoy geomorfologii* [Essays on Theoretical Geomorphology]. Novosibirsk, Publ. Nauka, 123 p.



- Kharchenko S.V. 2020. New Challenges of Geomorphometry and Automatic Morphological Classifications in Geomorphology. *Geomorphology*, 1: 3–21 (in Russian). DOI: 10.31857/S043542812001006X.
- Shchukin I.S. 1980. *Chetyrekhyazychnyy entsiklopedicheskiy slovar terminov po fizicheskoy geografii* [A four-language encyclopedic dictionary of terms in physical geography]. Moscow, Publ. Soviet encyclopedia, 701 p.
- Yakimenko E.L. 1990. *Morfometriya rel'efa i geologiya* [Terrain morphometry and geology]. Novosibirsk, Publ. Nauka, 201 p.

Поступила в редакцию 10.01.2022;

поступила после рецензирования 27.01.2022;

принята к публикации 17.02.2022

Received January 10, 2022;

Revised January 27, 2022;

Accepted February 17, 2022

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Лалин Павел Степанович, кандидат географических наук, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Pavel S. Lapin, PhD, Researcher at the Federal State Budgetary Institution of Science A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of the Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia