

ИССЛЕДОВАНИЯ В БАССЕЙНЕ БАЙКАЛА

УДК 551.4.08:910.3(571.53)

DOI: 10.15372/GIPR20230209

М.Ю. ОПЕКУНОВА, И.Н. БИЛИЧЕНКО, А.В. БАРДАШ, С.А. СЕДЫХ

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия,
opek@mail.ru, irinabilnik@mail.ru, sedykh@li.ru, olek22@mail.ru

ВЛИЯНИЕ РЕЛЬЕФА НА ПИРОГЕННУЮ НАРУШЕННОСТЬ ГЕОСИСТЕМ ПРИМОРСКОГО ХРЕБТА (ЗАПАДНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ)

Проведен морфометрический анализ рельефа для горной территории, расположенной в Западном Прибайкалье, — Приморского хребта, геосистемы которого продолжительное время трансформировались под действием пирогенного фактора. В таких условиях становится актуальным определение связей геоморфологических условий территории и распространения гарей, а также возможность использования полученных результатов при топографическом картографировании. Базой для карт кривизны поверхности послужила цифровая модель рельефа на основе данных радиометра ALOS с разрешением 30 м. С помощью геоинформационного анализа получены карты базовых морфометрических характеристик: крутизны и экспозиции склонов, горизонтальной, вертикальной кривизны, определены статистические коэффициенты этих показателей для территории исследования. Для выявления степени влияния геоморфологических условий на распространение гарей составлена геоморфологическая карта, проведена типизация рельефа по высотным ярусам и установлена корреляция с соответствующими типами местоположений. На данном этапе исследований выявлены следующие связи геоморфологической неоднородности локального рельефа и характера распространения огня: барьерами для распространения огня в ряде случаев становились речные долины (их вершинные части пожар обычно не затрагивает). Другой вариант барьеров — гряды, расположенные поперек склонов; таким образом, ориентировку орографических элементов рельефа можно обозначить как лимитирующий фактор распространения пожаров. Усиливающим фактором распространения стала преобладающая юго-восточная экспозиция макросклона Приморского хребта, которая совпала с северо-западным направлением основного воздушного переноса.

Ключевые слова: морфометрический анализ, пирогенные геосистемы, ярусность рельефа, экспозиция поверхности, пожары, Байкальская природная территория.

M.Yu. OPEKUNOVA, I.N. BILICHENKO, A.V. BARDASH, S.A. SEDYKH

V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 664033, Irkutsk,
ul. Ulan-Batorskaya, 1, Russia, opek@mail.ru, irinabilnik@mail.ru, sedykh@li.ru, olek22@mail.ru

INFLUENCE OF THE RELIEF ON THE PYROGENIC DISTURBANCE OF GEOSYSTEMS OF THE PRIMORSKII RANGE (WESTERN CISBAIKALIA)

A morphometric analysis is made of the relief for the mountainous territory located in Western Cisbaikalia: the Primorskii Range, the landscapes of which have been transformed for a long time under the influence of the pyrogenic factor. Under such conditions, it becomes relevant to determine the relationships between the geomorphological conditions of the territory and the distribution of post-pyrogenic landscapes, as well as the possibility of using the results obtained in landscape mapping. The basis for maps of surface curvature was provided by a digital elevation model based on ALOS radiometer data with a resolution of 30 m. Using geoinformation analysis, maps of the steepness and exposure of slopes, and horizontal, vertical curvature were obtained, and the statistical coefficients of these indicators for the study area were determined. To determine the degree of influence of geomorphological conditions on the distribution of post-pyrogenic landscapes, the geomorphological map was compiled, a typization of the relief was carried out according to the altitudinal layers, and a correlation with corresponding types of locations was determined. At this stage of the research, the following connections were revealed between the geomorphological heterogeneity of the local relief and the nature of the spread of fire: in some cases, river valleys became barriers to the spread of fire (their

summit parts are usually not affected by fire). Another option for barriers are the ridges located across slopes; thus the orientation of orographic relief elements can be designated as a limiting factor in the spread of fires. The prevailing south-eastward exposure of the macroslope of the Primorskii Range which coincided with the north-westward direction of the main air transport, became an intensifying factor in the spread.

Keywords: *morphometric analysis, pyrogenic geosystems, relief layering, surface exposure, fires, Baikal natural territory.*

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Горная часть Прибайкалья — это преимущественно труднодоступная территория, как для посещения, так и для тушения пожаров, поэтому последние имеют здесь большие площади распространения [1–4].

Частота возникновения пожаров в Прибайкалье возростала в течение XX в., а в 2000–2019 гг. в горах Прибайкалья они носили повсеместный характер [4], что в основном связывается с потеплением климата и аридизацией территории [5, 6].

Актуальность изучения влияния пирогенного фактора на геосистемы гор Прибайкалья определяется их высокой средообразующей, стабилизирующей и охранной значимостью в центральной зоне Байкальской природной территории (БПТ). Изучение структуры и функционирования горных геосистем, их преобразования при воздействии пожаров представляет собой основу оценки и прогноза изменений природной среды. В рамках геоморфологического направления комплексных ландшафтных исследований был проведен анализ основных морфометрических характеристик рельефа, структуры и спектра экзогенных процессов с целью выявления их влияния на распространение пирогенных ареалов юго-восточного макросклона Приморского хребта.

Пожары в горах являются одним из важнейших факторов, влияющих на состав, строение и развитие компонентов геосистем гор. Отсутствие достаточных данных об изменении этих компонентов определяет актуальность подобных исследований. Также важно изучение восстановления территорий, которые были подвержены огню. В качестве модельного выбран участок в районе руч. Улан-Хан, расположенный в пределах юго-восточного макросклона Приморского хребта (рис. 1). Ранее здесь подробно изучались растительность, гидрологические характеристики и почвенный покров [4, 7, 8].

Целью данного исследования стало изучение влияния рельефа на распространение гарей. Основными задачами стали морфометрический анализ рельефа территории, проведение типизации рельефа по высотным ярусам и корреляции с распространением ареалов гарей с полным и частичным выгоранием.

Актуальность использования морфометрических методов изучения поверхности с последующей интерпретацией полученных результатов в геоморфологических исследованиях в настоящее время растет [9–13]. В большинстве случаев такие исследования затрагивают процессы перемещения вещества в процессе флювиального рельефообразования, поэтому многие работы выполняются в рамках бассейнового принципа ограничения территории. Результаты изучения механизмов и характера распространения пожаров, базирующихся на принципе геоморфометрического моделирования, широко и успешно применяются [14–18], позволяя выявлять пространственно-временные закономерности распределения ареалов пирогенных геосистем на различных топологических уровнях.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Приморский хребет — крупная морфоструктура, входящая в состав Байкальской рифтовой зоны. Отмечается линейность, северо-восточная направленность форм рельефа, обусловленная главным структурным элементом — Приморским разломом [19–21]. Еще одна характерная особенность, отмеченная многими исследователями [20, 21], — ярусность, которая возникла в результате разных этапов формирования рельефа территории.

Участок исследования располагается в поле распространения пород протерозойского возраста приморского комплекса, представленного биотитовыми и роговообманковыми гнейсами, амфиболитами, кристаллическими известняками, сланцами, кварцитами, прослоями мраморов [22].

В качестве исходных данных использовалась цифровая модель поверхности ALOS Global Digital Surface Model в географической системе координат, пространственное разрешение: 1 угловая секунда (приблизительно 30 м) [23]. Обработка исходных данных производилась в открытой настольной ГИС SAGA (<http://saga-gis.org>). Были составлены гипсометрическая карта, карта крутизны поверхностей, карта профилей и плановой кривизны. Выполнен статистический анализ морфометрических показателей (набор данных рассматриваем как генеральную совокупность) (табл. 1).

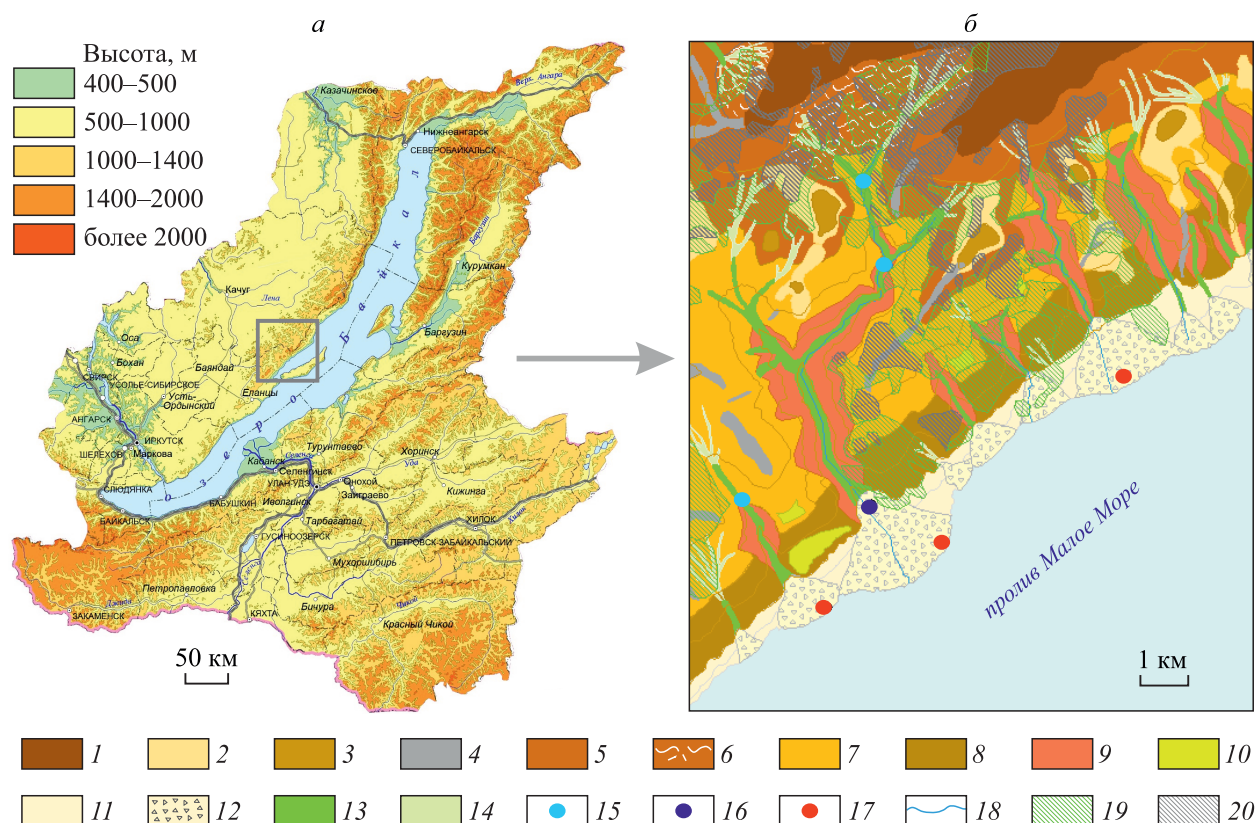


Рис. 1. Ситуационная (а) и геоморфологическая (б) карты ключевого участка «Улан-Хан» (Приморский хребет).

Денудационный рельеф. Вершинный пояс: 1 — плосковершинный рельеф водоразделов, соответствующий древней поверхности выравнивания; 2 — пологоволнистые водоразделы; 3 — холмистые водоразделы; 4 — сглаженные гребни хребтов и отдельные гряды. Пояс склонов горного обрамления: 5 — денудационные склоны средней крутизны, созданные преимущественно криогенными процессами; 6 — денудационные склоны средней крутизны, преимущественно солифлюкционные; 7 — денудационно-эрозионные склоны средней крутизны, созданные преимущественно криогенно-склоновыми и водно-эрозионными процессами; 8 — крутые денудационно-тектонические склоны уступа Приморского разлома; 9 — крутые обвально-осыпные склоны речных долин; 10 — полигенетические пологонаклонные поверхности. Аккумулятивный рельеф. Пояс предгорий: 11 — прибрежная равнина, представленная полосой предгорных шлейфов с конусами выносов (12) постоянных и временных водотоков. Межпоясные формы рельефа: 13 — днища долин постоянных и временных водотоков; 14 — ложбины стока, лощины, дели; 15 — наледные поляны; 16 — блокированные устья; 17 — следы селевой активности. 18 — гидросеть. Пирогенные ландшафты: 19 — частично сторевающие; 20 — полностью сторевающие.

Таблица 1

Статистические показатели значений высоты, крутизны, локальной кривизны поверхности в пределах территории исследования

Морфометрическая характеристика	Min	Max	Среднее	σ	Дисперсия	Q_1	Q_2	Q_3	S	E
Относительная высота, м	456,35	1734,76	1127,06	112542,18	338,47	886,13	1240,7	1373,7	-0,68	-0,73
Крутизна, градусы	0,02	40,14	12,89	74,61	8,64	5,99	10,73	18,11	0,82	-0,20
Горизонтальная кривизна	-0,3654	4,5162	0,00018	0,00016	0,01248	-0,00189	-0,00003	0,00198	230,13	82065
Вертикальная кривизна	-0,0094	0,0087	-0,00002	0,00000	0,00092	-0,00030	-0,00000	0,00030	-0,93	9,58

Примечание. Min — минимальное значение, Max — максимальное значение, Среднее — среднее арифметическое, σ — стандартное отклонение, Q_1 , Q_2 , Q_3 — квартили (25, 50 и 75 %), S — асимметрия, E — эксцесс.

Значения горизонтальной кривизны вычислены с использованием алгоритма Zevenbergen-Thorne [24]. Единицами измерения кривизны являются величины $1/\text{м}$. Горизонтальная (плановая) кривизна характеризует изменение экспозиции по мере движения вдоль определенного направления и описывает так называемый первый механизм аккумуляции — за счет сближения линий тока в плане [25, 26]. Отрицательные значения горизонтальной кривизны соответствуют вогнутым участкам — зонам конвергенции, где происходит сближение линий тока, положительные — выпуклым участкам — зонам дивергенции, где происходит расхождение линий тока.

При вычислении значений вертикальной (профильной) кривизны были использованы сглаженные данные, полученные с помощью мультимасштабного подхода Дж. Вуда [27]. В данном алгоритме значения аппроксимированы по методу наименьших квадратов в скользящем окне размером 11×11 ячеек. В качестве исходных параметров использованы показатели уклона и экспозиции. Этот метод реализован в ГИС SAGA для морфометрической классификации рельефа. Вертикальная кривизна характеризует изменение уклона поверхности вдоль его основного направления и описывает второй механизм аккумуляции — за счет относительного замедления потоков. Отрицательные значения вертикальной кривизны соответствуют вогнутым участкам — зонам аккумуляции, где происходит замедление потоков, положительные — выпуклым участкам — зонам сноса, где происходит ускорение потоков.

Использование предварительной фильтрации либо аппроксимации поверхности позволяет избежать влияния различных шумов и погрешностей исходных данных, сосредоточить внимание на мезоформах рельефа.

Ранее использование цифровых моделей поверхности ALOS для анализа рельефа средне- и низгорных территорий показало приемлемые результаты построения морфометрических карт [28, 29].

Проведен пространственный ГИС-анализ сопоставления векторного слоя распространения пожаров в разных поясах и векторного слоя крутизны и экспозиции. Выполнены наложение и совмещение, дифференциация средствами пространственного анализа по наличию или отсутствию признаков на склонах разной экспозиции и крутизны. Получено количество максимально различных полигонов (по наличию или отсутствию признака, значениями крутизны и экспозиции). Далее выявлены корреляции между распространением сгоревших участков, абсолютной высотой, крутизной и экспозицией склонов.

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КЛЮЧЕВОГО УЧАСТКА МОНИТОРИНГА ПОСТПОЖАРНОЙ ДИНАМИКИ «УЛАН-ХАН»

Участок исследования расположен на юго-восточном макросклоне Приморского хребта. Статистическая обработка массива данных высотных отметок показала левостороннюю ($S < 0$) умеренную асимметрию их распределения (см. табл. 1), что говорит о незначительном доминировании высот выше среднего значения. Отрицательное значение эксцесса (E) характеризует низковоершинное распределение величин и указывает на значительный диапазон их отклонения от модального. А.В. Погорелов и Ж.А. Думит [13] показали, что степень равновесия рельефообразующих факторов выражается коэффициентом эксцесса (E) и наиболее устойчива при $E = 0$. Отрицательные значения эксцесса (см. табл. 1) говорят о преобладании процессов денудации в рельефообразовании.

В результате многоэтапного формирования рельефа территории возникает хорошо выраженная ярусность, отмеченная многими исследователями [12–15], которая имеет прямое влияние на особенности распространения и функционирования геосистем (табл. 2).

Частично уничтоженные пожарами площади фиксируются на всех ярусах рельефа, а полностью уничтоженные не обнаружены на высотах >600 м над ур. моря (рис. 2).

В пределах территории исследования незатронутыми пожарами частично остаются гряды, ориентированные поперек склона в пределах высотных отметок 1200–1700 м над ур. моря.

Еще один барьер для распространения пожаров — это долины рек Ятор, Улан-Хан и их притоков. Долины рек территории в основном V-образные в среднем течении, с крутыми склонами, интенсивными гравитационно-склоновыми процессами, участками селепроявления. Однако в ряде случаев ареалы постпирогенных геосистем спускаются до средних частей крутых склонов восточной, юго-восточных экспозиций и ниже (см. рис. 2), что объясняется усиливающим эффектом крутых склонов для распространения пожаров [3]. В нижнем течении р. Улан-Хан граница гарей находится в зоне сочленения склона и днища долины, в данном случае происходит наложение эффектов увлажненных геосистем днищ долин и смены крутизны склонов.

Таблица 2

Типы рельефа, экзогенные процессы и геосистемы трансекта

Высотный ярус (м над ур. моря)	Тип рельефа	Формы рельефа (мезо-микро-нанорельеф)	Группы экзогенных геоморфологических процессов	Геом (геосистема регионального ранга)
1500–1721	Плосковершинные водоразделы	Каменные (многоугольники) полигоны разного топологического порядка, каменные венки, каменные розетки	Криогенного выветривания; мерзлотная (процессов местного перемещения вещества)	Гольцовый горно-тундровый
1300–1500	Денудационные склоны средней крутизны в сочетании с плоскими и холмистыми водораздельными поверхностями	Нагорные террасы, курумы, делли Денудационные склоны средней крутизны	Гравитационно-склоновый, в том числе нивально-гравитационные; склоновый гидрогенного сползания и течения; склоновый водно-эрозионный; криогенно-склоновый	Подгольцовый кустарниковый, горно-таежный лиственный и подгольцовый темнохвойно-редколесный редуцированного развития
1000–1300	Пологохолмистый рельеф водоразделов в сочетании с денудационными останцами и узкими грядами с пологими склонами	Долины временных водотоков с заболоченными днищами, делли, курумы	Гравитационно-склоновый, в том числе нивально-гравитационные; склоновый гидрогенного сползания и течения; склоновый водно-эрозионный; криогенно-склоновый; флювиальный	Горно-таежный лиственный и лиственно-темнохвойный ограниченного развития
700–1000	Крутой уступ Приморского сброса (верхняя ступень)	Долины временных водотоков с крутыми обвально-осыпными склонами, фрагменты площадки	Гравитационно-склоновый; склоновый гидрогенного сползания и течения; склоновый водно-эрозионный; флювиальный	Лиственный ограниченного развития
600–700	Крутой уступ Приморского сброса (нижняя ступень)	Долины временных водотоков, конусы выноса	Флювиальный; склоновый водно-эрозионный, эоловый, фитогенный, техногенный	Лиственные оптимального развития, подгорный сосновый ограниченного развития
500–600	Пологоволнистая поверхность предгорной ступени с холмами и грядами	Долины временных водотоков, конусы выноса	Флювиальный; склоновый водно-эрозионный, озерный, эоловый, фитогенный, техногенный	Внутригорный пониженный и долин светлохвойный ограниченного развития

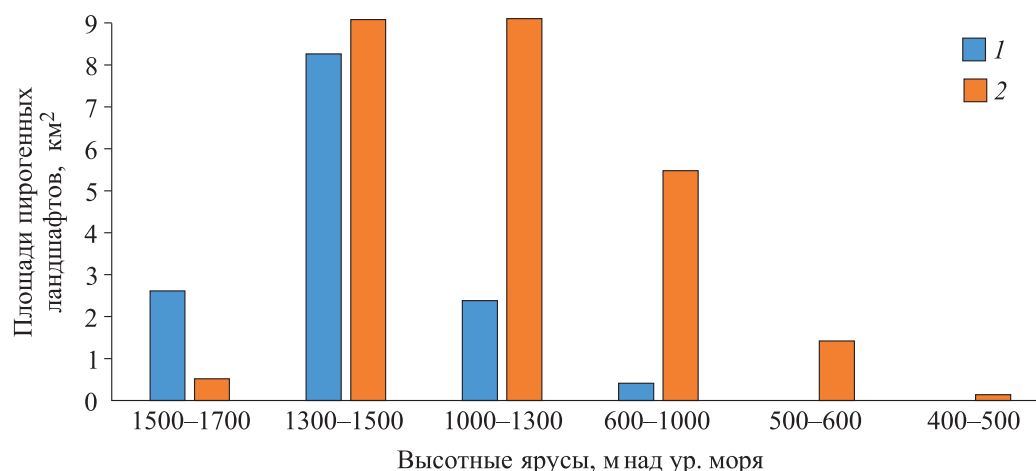


Рис. 2. Распределение гарей ключевого участка «Улан-Хан» по высотным ярусам.

Пирогенные ландшафты: 1 — полностью сгоревшие, 2 — частично сгоревшие.

Крутизна поверхностей варьирует от 0,02 до 40,14° (см. табл. 1). Распределение значений показывает на преобладание поверхностей с крутизной <18°, т. е. преобладают поверхности от пологих до очень крутых (до 20°), на это же указывает и правосторонняя ($S > 0$) умеренная асимметрия (см. табл. 1). Ареалы с максимальными для территории значениями крутизны сконцентрированы в северо-западном и юго-восточном секторах участка и соответствуют краевым частям сбросовых ступеней макросклона Приморского хребта и крутосклонным бортам долин малых рек и временных водотоков (рис. 3). Ареалы с минимальными значениями оконтуривают пологонаклонную равнину прибрежной части территории, плосковершинные поверхности и днища долин.

Крутизна поверхностей при распространении пожаров — усиливающий фактор для их распространения [11], что косвенно может подтвердить распределение полностью сгоревших участков (см. рис. 3), исходя из которого их максимальные площади соответствуют поверхностям с максимальными значениями крутизны.

Однако для территории исследования немаловажным фактором, способствующим распространению огня и, следовательно, выгоревших территорий, может быть и экспозиционная однородность (см. рис. 3, табл. 2).

Для выявления корреляции поверхностей различных экспозиций с расположенными на них гаями с преобладающими направлениями ветра было проведено совмещение лепестковых диаграмм розы ветров в пожароопасный период 2016 г., когда были зафиксированы максимальные сгоревшие площади горно-таежных лесов и кустарников, и экспозиционной дифференциации гарей.

Ареалы пирогенных геосистем занимают площади в порядке убывания: восточные, юго-западные, без выраженной экспозиции, юго-западные и т. д. (см. рис. 3), что совпадает с направлением румбов преобладающих ветров в течение пожароопасного периода.

Для оценки влияния микрорельефа на распространение ареалов пирогенных геосистем применялся анализ вертикальной и плановой кривизны рельефа. Горизонтальная кривизна — морфометри-

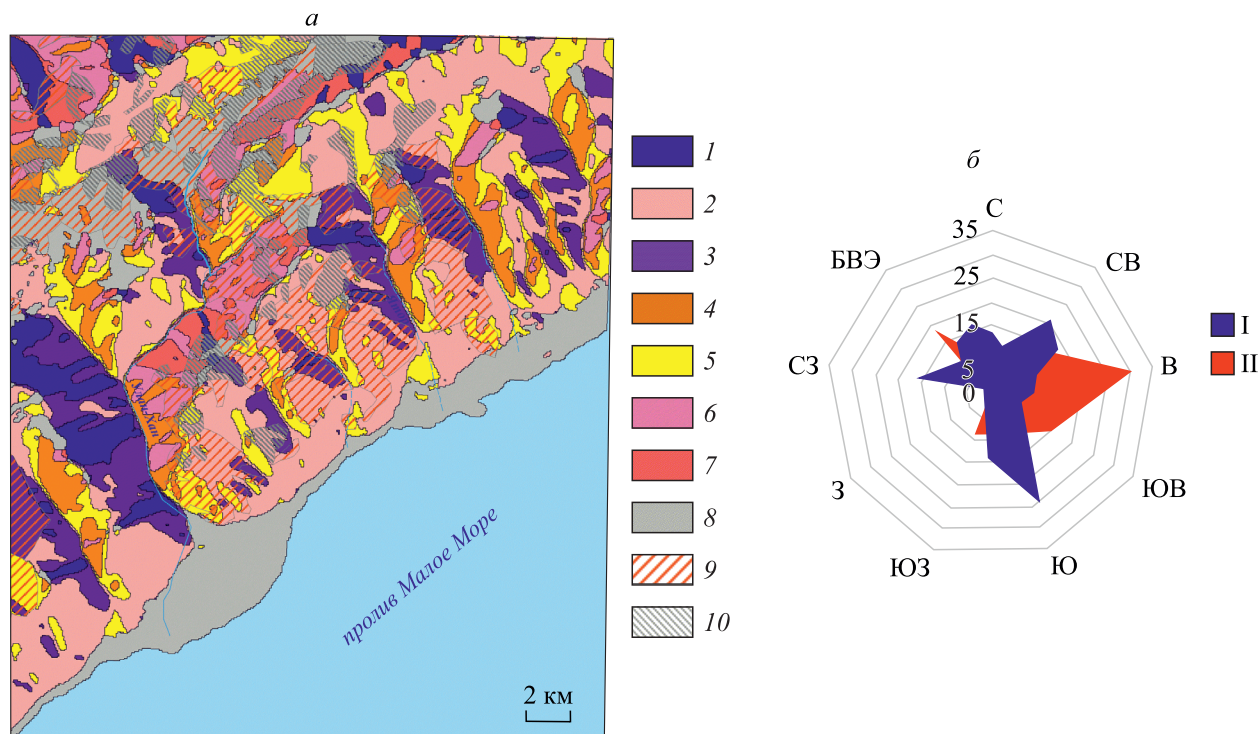


Рис. 3. Распространение гарей ключевого участка «Улан-Хан» (Приморский хребет): экспозиция поверхностей с дифференциацией на сгоревшие и не сгоревшие площади (а) и диаграмма распределения пирогенных геосистем по экспозиции поверхностей (б).

Экспозиция склонов: 1 — восточная, 2 — северная, 3 — северо-восточная, 4 — плоские поверхности, 5 — южная, 6 — юго-восточная, 7 — юго-западная, 8 — западная. Пирогенные ландшафты: 9 — частично выгоревшие (<60 %), 10 — полностью сгоревшие (>90 %). I — роза ветров; II — распределение площадей гарей в зависимости от экспозиции.

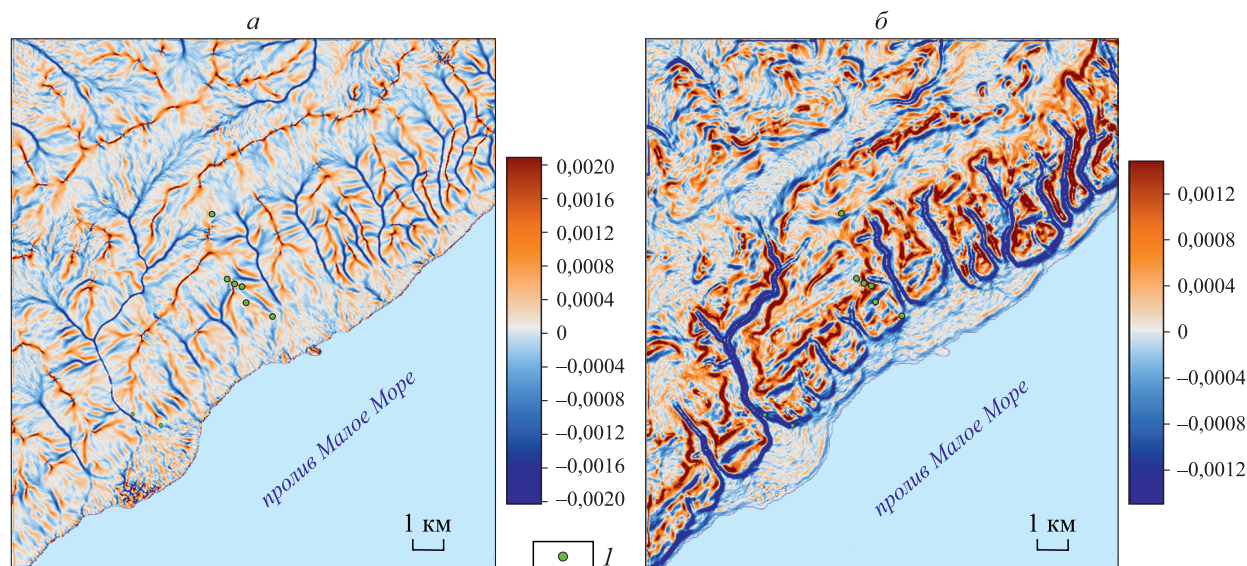


Рис. 4. Распределение значений горизонтальной (а) и вертикальной (б) кривизны поверхности в пределах ключевого участка «Улан-Хан» (Приморский хребет).

I — ключевые участки.

ческая величина, описывающая первый механизм аккумуляции и иллюстрирующая потоки перемещения вещества, структуру рельефа, неоднородность микрорельефа (рис. 4, а).

На карте горизонтальной кривизны (см. рис. 4, а) выделяются линейные образования — гряды северо-восточного простирания, которые соответствуют ареалам со значениями 0,004–0,045, такие формы окаймляются грядами более низкого порядка субмеридиональной ориентировки, выраженными ареалами со значениями 0,008–0,004 и ниже. Вместе они образуют в плане перистый рисунок водораздельных поверхностей. Линейные ареалы с отрицательными значениями оконтуривают делли, эрозионную сеть.

Положительные значения асимметрии для плановой кривизны указывают на доминирование в пределах территории исследовании вогнутых форм, что свидетельствует о преобладании здесь процессов конвергенции, а следовательно, благоприятных условий для развития водно-эрозионных процессов [3, 4]. Значения коэффициентов эксцесса (E), горизонтальной кривизны велики, что указывает на довольно высокое разнообразие величин в пределах описываемого участка, т. е. и на значительную неоднородность микрорельефа.

Значения горизонтальной кривизны исследуемой территории варьируют от $-0,36$ до $4,51$, разброс значений значителен, о чем свидетельствуют значения стандартного отклонения σ и квартилей Q_1 , Q_2 , Q_3 (см. табл. 1). Правосторонняя ($S > 0$) асимметрия (см. табл. 1) распределения показателей горизонтальной кривизны говорит о незначительном доминировании показателей ниже среднего значения, т. е. о преобладании конвергентных потоков — аккумуляции материала.

Вертикальная кривизна — морфометрическая величина, описывающая второй механизм аккумуляции [3], в пределах территории исследования изменяется от $-0,0094$ до $0,0087 \text{ м}^{-1}$ (см. табл. 1). Ареалы с $k_v > 0$ оконтуривают крутые выпуклые склоны, а также узкие хребты, приводораздельные и гребневидные водораздельные поверхности. Максимальные значения соответствуют хребтам, склонам крупных гряд (см. рис. 3, б). Большую часть территории занимают поверхности со значениями, близкими к 0. Ареалы со значениями > 0 соответствуют выпуклым склонам, водоразделам, представленным седловинами или плоскими участками. Вогнутым склонам долин, водораздельных поверхностей соответствуют ареалы со значениями < 0 . Левосторонняя ($S < 0$) умеренная асимметрия (см. табл. 1) распределения показателей вертикальной кривизны говорит о незначительном доминировании показателей выше среднего значения, т. е. о преобладании дивергентных потоков — рассеивании материала.

Геоморфологическая неоднородность локального рельефа, выраженная сочетанием ареалов с различными показателями плановой и профильной кривизны, не оказала влияния на группировку в пространстве ареалов постпирогенных геосистем. Исключением может быть зона сочленения выпуклых склонов и пологих поверхностей в более увлажненной долине р. Улан-Хан, которая совпадает с границей пирогенного ареала.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Наибольшие площади пирогенных ареалов расположены в высотных ярусах от 1000 до 1500 м над ур. моря, для которых характерно распространение денудационных склонов в совокупности с пологоволнистыми, холмистыми водоразделами и грядами. Данный ярус, во-первых, занимает большую часть площади исследуемого участка, во-вторых, в нем находятся самые продуктивные горно-таежные геосистемы.

2. Экспозиционная дифференциация пирогенных ареалов обусловлена направлением преобладающих ветров в пожароопасный период преимущественно южного юго-восточного румбов. Максимальные площади пирогенных ландшафтов расположены на поверхностях южной и восточной экспозиций.

3. Влияние микрорельефа на распространение гарей на исследуемой территории не выявлено. Гари охватили все формы рельефа, включая водораздельные поверхности разных типов, склоны долин, исключение составляют днища долин крупных водотоков в среднем и нижнем течении.

4. Структура распространения экзогенных геоморфологических процессов, которая подчиняется высотной поясности, отражает способность геосистем к восстановлению. Поэтому необходим мониторинг не только постпирогенной динамики, но и экзогенных процессов рельефообразования на площадках.

Распространению пожаров способствовала преобладающая экспозиция макросклона Приморского хребта — юго-восточная, которая совпала с северо-западным направлением основного воздушного переноса. В качестве лимитирующего фактора распространения пожаров можно отметить ориентировку орографических элементов рельефа, расположенных поперек склона, и наличие долин крупных ручьев (их вершинные части пожар обычно не затрагивает).

Таким образом, при мониторинговых исследованиях постпирогенной динамики геосистем необходимо учитывать влияние следующих геоморфологических факторов:

- экспозиция-крутизна поверхностей;
- структура микрорельефа, которая может быть усложнена при прохождении пожаров (ветроваль, увлажненные долины ручьев);
- изменение интенсивности и скоростей проявления процессов за счет нарушения растительного и почвенного покровов и изменения физико-механических параметров грунтов вследствие воздействия высоких температур.

Работа выполнена за счет средств государственных заданий Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (AAAA-A21-121012190059-5, AAAA-A21-121012190063-2, AAAA-A21-121012190017-5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лупян Е.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Егоров В.А., Ершов Д.В., Кобец Д.А., Сенько К.С., Стыщенко Ф.В., Сычугов И.Г. Спутниковый мониторинг лесных пожаров в 21 веке на территории Российской Федерации (цифры и факты по данным детектирования активного горения) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2017. — Т. 14, № 6. — С. 158–175.
2. Суворов Е.Г., Новицкая Н.И., Китов А.Д. Временная и пространственная локализация лесных пожаров водосборного бассейна озера Байкал // ИнтерКарто. ИнтерГИС. — 2019. — Т. 25, № 2. — С. 204–216.
3. Kharuk V.I., Ponomarev E.I. Wildfires and burns of Siberian taiga // Science First Hand. — 2020. — N 2 (55). — P. 44–59.
4. Bilichenko I.N. Influence of forest fires on mountain-taiga geosystems // Environmental Transformation and Sustainable Development in the Asian Region. Proceedings of the International Scientific Conference (Irkutsk, September 08–10, 2020). — Irkutsk: Sochava Institute of Geography SB RAS, 2020. — 80 p.
5. Kharuk V.I., Ponomarev E.I., Ivanova G.A., Dvinskaya M.L., Coogan S.C., Flannigan M.D. Wildfires in the Siberian taiga. Ambio [Электронный ресурс]. — <https://link.springer.com/article/10.1007/s13280-020-01490-x> (дата обращения 15.02.2021).
6. Лупян Е.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Бурцев М.А., Дмитриев В.В., Сенько К.С., Крашенинникова Ю.С. Лесные пожары на территории России: особенности пожароопасного сезона 2019 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2019. — Т. 16, № 5. — С. 356–363.
7. Kichigina N.N., Bilichenko I.N. Specificity of the river flow formation of small mountain streams of the Baikal natural territory resulting from wildfires // Series: IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. — 2019. — N 381. — P. 012042.

8. Белозерцева И.А., Лопатина Д.Н., Биличенко И.Н. Экологическое состояние почв Приольхонья и восточного склона Приморского хребта (Западное Прибайкалье) // Устойчивое развитие горных территорий. — 2020. — Т. 12, № 2 (44). — С. 199–210.
9. Новаковский Б.А., Симонов Ю.Г., Тульская Н.И. Эколого-геоморфологическое картографирование Московской области. — М.: Научный мир, 2005. — 72 с.
10. Погорелов А.В., Думит Ж.А. Рельеф бассейна р. Кубани: Морфологический анализ. — М.: ГЕОС, 2009. — 207 с.
11. Иванов М.А., Ермолаев О.П. Геоморфометрический анализ бассейновых геосистем Приволжского федерального округа по данным SRTM и Aster GDEM // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2017. — Т. 14, № 2. — С. 98–109.
12. Есипова Е.С., Кобяков К.Н., Колбовский Е.Ю., Милаковский Б.Д., Маланин П.Б., Лисунов О.А., Омелько А.М., Пуреховский А.Ж., Старожилов В.Т., Ухваткина О.Н. Методические подходы и рекомендации к зонированию малонарушенных лесных территорий на юге Дальнего Востока России. — М.: Всемирный фонд дикой природы, 2016. — 41 с.
13. Колбовский Е.Ю., Климанова О.А. Геоинформационное картографирование сухопутных границ полуостровов (на примере полуостровов Ямал и Гыданский) // Геодезия и картография. — 2018. — Т. 79, № 11. — С. 34–46.
14. Онучин А.А., Космынин А.В., Гапаров К.К., Корец М.А. Моделирование и ГИС, как средство восполнения информационного дефицита при лесогидрологических исследованиях // Сибирский экологич. журнал. — 2003. — № 6. — С. 749–754.
15. Природные ресурсы Еврейской автономной области / Отв. ред. В.Я. Фрисман. — Биробиджан: Изд-во Ин-та комплекс. анализа регионал. проблем ДВО РАН, 2004. — 111 с.
16. Сверлова Л.И., Костырина Т.В. Засуха и лесные пожары на Дальнем Востоке. — Хабаровск: Кн. изд-во, 1985. — 120 с.
17. Софронов М.А. Лесные пожары в горах Южной Сибири. — М.: Наука, 1967. — 147 с.
18. Янко И.В. Пирологическая оценка территории Томской области: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Томск, 2005. — 20 с.
19. Агафонов Б.П. Экзолитодинамика Байкальской рифтовой зоны. — Новосибирск: Наука, 1990. — 176 с.
20. Кузьмин С.Б. Геоморфология зоны Приморского разлома (Западное Прибайкалье) // Геоморфология. — 1995. — № 4. — С. 53–61.
21. Лопатин Д.В., Сквитина Т.М. Ярусное строение рельефа Приольхонья и острова Ольхон в Западном Прибайкалье // Геоморфология. — 2008. — № 4. — С. 83–91.
22. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-6 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Ангара-Енисейская. Лист N-48 / Под ред. Е.П. Миронюк. — СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2009. — 1 л.
23. ALOS Global Digital Surface Model (DSM) “ALOS World 3D-30m” (AW3D30) Dataset. Product Format Description. Version 1.1 [Электронный ресурс]. — https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/aw3d30v11_format_e.pdf (дата обращения: 13.07.2019).
24. Zevenbergen L.W., Thorne C. R. Quantities analysis of land surface topography // Earth Surface Processes and Landform. — 1987. — N 12. — P. 47–56.
25. Шарый П.А. Геоморфометрия в науках о Земле и экологии, обзор методов и приложений // Изв. Самарского науч. центра РАН. — 2006. — № 8 (2). — С. 458–473.
26. Флоринский И.В. Иллюстрированное введение в геоморфометрию // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время [Электронный ресурс]. — www.j-spacetime.com/actual%20content/t11v1/PDF-files/2227-9490e-aprov_e-ast11-1.2016.71.pdf. (дата обращения: 12.12.2017).
27. Wood J.D. The Geomorphological Characterization of Digital Elevation Models: Ph. D. Thesis. — Leicester: Univ. Leicester. — 193 p.
28. Опекунова М.Ю., Бардаш А.В. Применение геоморфометрического анализа для малых речных бассейнов Селенгинского среднегорья (на примере бассейна р. Тарбагатайки) // Геодезия и картография. — 2019. — Т. 80, № 6. — С. 30–38.
29. Опекунова М.Ю., Вантеева Ю.В., Солодянкина С.В. Геоморфометрический анализ рельефа Приольхонья // Геодезия и картография. — 2021. — № 6. — С. 37–46.

Поступила в редакцию 28.03.2022

После доработки 22.06.2022

Принята к публикации 28.12.2022