

УДК 551.4.03:551.4.012

НОВЫЙ ПОДХОД К КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ РЕЛЬЕФА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

© 2021 г. Е. А. Еременко^{1,*}, Ю. Р. Беляев¹, С. И. Болысов¹,
В. И. Мысливец¹, А. В. Бредихин¹

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия

*E-mail: eremenkoeaig@gmail.com

Поступила в редакцию 27.11.2019 г.

После доработки 24.06.2020 г.

Принята к публикации 06.10.2020 г.

Разработан новый подход к комплексной оценке рельефа для целей природопользования, основанный на расчете интегрального показателя геоморфологической безопасности. Определен объем понятия “геоморфологическая безопасность”, обосновано его выделение как особого вида природной безопасности. Приводится краткий обзор научных работ в области оценки геоморфологических опасностей и риска, устойчивости и уязвимости. Представлен алгоритм проведения комплексной оценки геоморфологической безопасности, основанной на взвешенном учете факторов и условий развития рельефа конкретной территории. Результатом оценки является карта, на которой отображается пространственное распределение интегрального показателя геоморфологической безопасности. Этот безразмерный показатель демонстрирует эффективность природопользования в зависимости от величины возможного ущерба от развития опасных и неблагоприятных геоморфологических процессов. На примере крупномасштабной оценки геоморфологической безопасности земледелия и горнодобычи на ключевом участке в южном Подмоскowie показана процедура оценки, ее результат, а также значимость введения весовых коэффициентов с целью учета специфики природопользования. Подчеркивается специфика процедуры оценки разработанным методом равнинных и горных территорий, а также дна Мирового океана; дан обзор значимых критериев, которые следует учитывать при расчете показателя геоморфологической безопасности в разных масштабах.

Ключевые слова: геоморфологическая безопасность, интегральный показатель, геоморфологический риск, опасность, землепользование

DOI: 10.31857/S043542812101003X

ВВЕДЕНИЕ И ТЕРМИНОЛОГИЯ

Эффективность и безопасность природопользования в пределах любой территории во многом зависят от спектра присущих ей природных опасностей, важное место в ряду которых занимают геологические и геоморфологические. В рамках Всемирной конференции ООН по уменьшению опасности стихийных бедствий в 2004 г. — ключевой встречи всемирного сообщества для решения проблем безопасности в мире — было подчеркнуто, что планирование землепользования является “существенно важным инструментом уменьшения опасности бедствий” [1]. Опасные и неблагоприятные геоморфологические процессы существенно влияют на экономическую эффективность хозяйствования путем повышения издержек (средств, затрачиваемых, в том числе, на инженерную защиту территории, предупреждение и ликвидацию последствий развития нега-

тивных процессов) и снижения безопасности населения и хозяйства.

Оценка опасностей и риска относится к области прикладных геоморфологических исследований. Под природными опасностями понимают “процессы, свойства или состояния определенных частей литосферы, гидросферы, атмосферы или космоса, представляющие угрозу для людей, объектов экономики и/или окружающей среды” [2, с. 23]. Геоморфологическая опасность — это возможность, угроза бедствия со стороны какого-либо геоморфологического объекта или процессов, нарушающих или разрушающих среду жизни человека [3]. Неблагоприятные и опасные геоморфологические процессы снижают комфортности проживания населения на территории и наносят прямой и/или косвенный ущерб соответственно. Природный риск выступает в качестве вероятностной меры природной опасности (совокупности опасностей), установленной для

определенного объекта в виде возможных потерь за заданное время [2]. Вслед за этим геоморфологический риск может быть определен как вероятность ущерба (для населения и хозяйства), связанного с развитием геоморфологических процессов.

Управление природным риском – важный компонент общей стратегии обеспечения безопасности населения и хозяйства от природных опасностей [2, 4]. Термин “безопасность” в последние десятилетия активно используется в науках о Земле и рассматривается как синоним термина “защищенность” [2]. Определение безопасности приводится в правовых документах. Согласно ныне не действующему Федеральному закону “О безопасности”, под безопасностью следует понимать “состояние защищенности жизненно важных интересов личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз” [5, ст. 1]. Принятый взамен [5] новый закон “О безопасности” [6] рассматривает сущность безопасности в том же ключе и обосновывает наличие разных видов безопасности (общественная безопасность, экологическая безопасность и пр.). Сходным образом безопасность рассматривается в федеральных законах о защите населения, о промышленной безопасности и других, принятых после утверждения ООН Иокогамской стратегии обеспечения безопасного мира [7]. Объекты, требующие обеспечения безопасности, – это общество, граждане, материальные ценности, системы разного ранга и генезиса. Источники опасности могут быть внутренними или внешними по отношению к системам. Вопросам безопасности самых разных объектов посвящен огромный объем литературы, и выделяется особая отрасль знания – наука о безопасности [8 и др.].

В обобщающей монографии “Природные опасности России” приведено определение термина “природная безопасность”, под которой предлагается понимать “состояние защищенности населения, объектов хозяйства и окружающей природной среды от природных опасностей, включая их техноприродные разновидности” [2, с. 25]. Геоморфологическая безопасность – это часть природной безопасности, которая является состоянием защищенности социально-геоморфологических систем (по [9]) от геоморфологических угроз (опасностей). Социально-геоморфологическая система – базовая составляющая социально-природных систем, возникающих в процессе природопользования. Эффективность природопользования во многом зависит от геоморфологической безопасности территории в целом, а также отдельных объектов и систем хозяйствования. Чем ниже уровень потенциальной опасности и выше защищенность систем, тем выше эколого-экономическая эффективность их функционирования. Таким образом, геоморфологическая

безопасность (как, впрочем, опасности и риск) не может рассматриваться в отрыве от природопользования, так как “природа сама себе не вредит”.

Для обеспечения безопасности населения и хозяйства необходимо иметь четкое представление о спектре и активности характерных для территории геоморфологических опасностей. Представления о факторах и условиях развития геоморфологических процессов (в том числе тех, что могут представлять опасность для населения и хозяйства), их механизме и распространении закреплены в многочисленных учебниках и учебных пособиях, а также на картах разного масштаба. По отдельным регионам собраны данные и об активности процессов и, в том числе, на основе анализа и систематизации информации о фактическом проявлении, составлены карты распространения опасных геоморфологических процессов. Вместе с тем для обеспечения безопасности населения и хозяйства необходимо разработать подход, который позволил бы оконтурить не только участки фактического проявления геоморфологических опасностей, но также и те районы, где эти опасности могут проявиться в будущем (в том числе, при антропогенном вмешательстве). Кроме того, потенциальному потребителю геоморфологической информации (частные землепользователи, министерства и ведомства, органы управления) сложно составить общую картину спектра потенциальных опасностей, характерных для территории, не имея специальных навыков. Как правило, генезис процесса и механизм его развития волнуют землепользователей гораздо меньше, чем величина потенциального ущерба и частота проявления негативного события. Еще в конце XX века обозначилась необходимость создания универсального способа трансляции геоморфологической информации (о присущих территории опасностях и пр.) ее потенциальным потребителям. Именно с этого времени в России и мире началась новая эпоха в развитии прикладной географии – эпоха массовой систематизации и комплексного анализа разнородной географической информации с целью представления ее в универсальной числовой форме, понятной любому потребителю (эпоха комплексных оценок). В настоящей работе представлен один из возможных подходов к комплексной оценке рельефа для целей обеспечения безопасности и эффективности природопользования – подход, основанный на оценке геоморфологической безопасности территории (ГБТ).

ПОДХОДЫ К КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ

Со второй половины XX века комплексные оценки используются в географических исследованиях для характеристики систем, объектов

и/или процессов на основе изучения нескольких показателей их свойств, которые могут быть как качественными, так и количественными. При этом объектом комплексной оценки может являться как состояние систем, так и связи между их компонентами [9–11 и др.]. Преимущество использования комплексных оценок в географии заключается в интегральном отображении свойств систем (природных, социально-экономических и др.), которые определяются комплексом условий и факторов. Процедура комплексной оценки традиционно сводится к последовательному выполнению следующих шагов: выбор и ранжирование значимых критериев оценки (показателей), комплексирование, в том числе взвешенное (может быть выполнено путем наложения контуров, математических операций с выбранными параметрами в пределах территориальных единиц оценки) и расчет интегрального показателя на основе значений критериев. В результате каждому оцениваемому объекту (участку территории, точечному объекту или др.) присваивается индивидуальное значение интегрального показателя (опасности, напряженности, устойчивости или др.). Выражение информации о состоянии системы в виде интегрального показателя подразумевает объединение многокритериальных оценок, многие из которых имеют экспертную основу, а значит, могут в разной мере отображать действительное состояние анализируемого объекта. В то же время интегральные оценки остаются наиболее удобным и корректным способом сравнения состояния сложных систем в связи с возможностью пусть и отчасти качественного, но все же достаточно полного учета комплекса значимых критериев состояния [12].

В географических исследованиях, как правило, основным итогом оценки служит карта, на которой и отображается пространственное распределение интегрального показателя. Описанный подход к оценке реализован в серии прикладных географических исследований, в частности, при оценке экологического состояния [10], напряженности геоморфологических процессов и обстановок [14, 15], территориальных ресурсов [16], эколого-геоморфологической опасности [17], устойчивости морфолитосистем [18] и др.

Наиболее значимы для практического использования исследования, направленные на комплексную оценку опасностей и риска. Оценка риска выполняется с использованием сведений о характере площадного распространения оцениваемого процесса, его активности во времени и величине возможного ущерба. Оценка природных рисков (в том числе геоморфологических) осложняется отсутствием или неполнотой данных об активности процессов, а для некоторых регионов – и о пораженности. Значительная часть работ в этой области направлена на идентифика-

цию, инвентаризацию и оценку геологических и геоморфологических опасностей и рисков для конкретных небольших территорий [19, 20 и др.], реже – для относительно крупных регионов [21 и др.]. В работе Ю.Г. Симонова с коллегами [17] приводится методика расчета эколого-геоморфологического риска на основе балльной оценки интенсивности воздействия геоморфологических процессов на разные виды природопользования. Велика доля работ, посвященных оценке рисков развития какого-либо одного конкретного опасного геоморфологического процесса [22, 23 и др.].

В начале XXI века появилось много работ, обобщающих информацию по различным факторам геологического риска и методике его расчета, по прогнозированию и управлению геоэкологической и экологической безопасностью, оценке устойчивости геологической среды [24–28 и др.]. Основная масса представленных в литературе оценок имеет качественный характер (оперируют понятиями “сильный”, “средний”, “слабый” и аналогичными). Количественные оценки встречаются реже [29, 30], что связано с неполнотой исходных данных, необходимых для расчетов риска (в частности, данных об активности процессов и величине ожидаемого ущерба). Количественные оценки производятся, в том числе, на основе балльных оценок [14, 15, 31–33] и часто в этом случае называются полуколичественными. При этом сам способ получения интегрального показателя практически неизменен и представляет собой обычное или взвешенное оверлейное суммирование частных тематических слоев – критериев оценки.

Таким образом, к настоящему времени в науках о Земле разработана серия методических подходов к комплексной оценке гео- и экосистем, большая часть которых подразумевает качественный или полуколичественный результат. В части комплексной оценки рельефа для нужд природопользования проведенные разработки не имеют целевой направленности, что отличает их от предлагаемого в настоящей статье подхода, который ориентирован на учет специфических требований разных видов хозяйствования к рельефу.

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА РЕЛЬЕФА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Необходимость создания методики комплексной оценки рельефа для нужд природопользования продиктована стремлением снизить ожидаемый ущерб от воздействия геоморфологических процессов не только на существующие социально-геоморфологические системы, но и на системы проектируемые (участки перспективного освоения). С учетом существующих проблем

оценки опасности и риска (вызванных, в том числе, неполнотой сведений об активности процессов) представляется рациональной комплексная оценка факторов и условий развития рельефа, которые, в конечном итоге, и определяют характерный спектр и интенсивность процессов морфолитогенеза, влияя на величину ожидаемого ущерба социально-геоморфологическим системам. Предлагаемая методика основана на выделении значимых факторов и условий развития рельефа (критериев оценки), их ранжировании, приведении к единой шкале измерения (к примеру, балльной [32]), пространственном анализе распределения критериев и расчете интегрального показателя геоморфологической безопасности на основе частных значений критериев с учетом их значимости для существующего или перспективного типа природопользования.

Комплексная оценка геоморфологической безопасности территорий (ГБТ), как правило, является целевой (выполняется для конкретного типа природопользования или их комплекса) и включает несколько основных этапов. Вначале проводится отбор критериев оценки – факторов и условий, влияющих на развитие рельефа (тектонических, климатических, геологических, биологических и пр.), перечень которых может быть получен путем анализа геолого-географической среды и спектра присущих данной территории геоморфологических процессов. В зависимости от масштаба и цели оценки набор показателей будет различным. Важно отметить, что, наряду с количественными показателями при необходимости учитываются и качественные, к примеру, – тип строения геологического разреза, характер растительности и пр. Содержание матрицы критериев зависит не только от масштаба, но и от физико-географических условий оцениваемой территории – ее геолого-тектонического положения, орографии, климатических условий и пр.

На следующем этапе определяется возможный диапазон изменения каждого из критериев в пределах территории, проводится их ранжирование и приведение к балльной шкале. По нашему мнению, баллы являются оптимальным способом единообразного представления разнородной информации о таких сложных системах, как, в частности, социально-геоморфологические, что неоднократно подчеркивалось в ряде работ [5, 9, 14 и др.].

Следующий этап оценки заключается в выборе элементарных территориальных единиц, для которых будет произведен расчет значения интегрального показателя ГБТ. Возможны два основных подхода к их выделению: 1) оверлейное суммирование частных тематических слоев (критериев оценки) с использованием ГИС-технологий; 2) выделение территориальных единиц

на основе геоморфологических границ разного ранга (морфоструктурных зон, генетических комплексов, форм или элементов рельефа).

Для разных типов природопользования развитие геоморфологических процессов в разной степени опасно. К примеру, затопление поймы нанесет существенный ущерб расположенным на ней селитебным территориям, а для сельскохозяйственных угодий, напротив, может способствовать увеличению урожайности. Для учета разной значимости критериев в оценке ожидаемого ущерба им присваиваются квалитетические коэффициенты (веса), получаемые разными методами. Один из вариантов их определения – экспертная оценка значимости критериев для конкретного вида природопользования методом Дельфи [34]. Значения коэффициентов изменяются в зависимости от типа природопользования, геоморфологическая безопасность которого – предмет комплексной оценки. Сумма весовых коэффициентов должна быть постоянным числом, например, единицей (экспертная оценка значимости методом прямой расстановки).

На завершающем этапе оценки рассчитывается интегральный показатель геоморфологической безопасности для каждой элементарной территориальной единицы. Значение показателя может быть получено, к примеру, путем суммирования произведений баллов по каждому критерию на весовой коэффициент критерия, геометрическим осреднением этих произведений и др. При наличии нескольких критериев одной природы (например, геологических или климатических) возможно арифметическое, геометрическое или иное осреднение произведений в пределах группы [32], что позволяет избежать искусственного завышения значимости отдельных групп критериев. Результат комплексной оценки ГБТ – карта, на которой отображены участки, различающиеся значением интегрального показателя. Эти районы характеризуются разной степенью эффективности того или иного вида природопользования, разной величиной ожидаемого ущерба от геоморфологических угроз. Фактический ряд значений интегрального показателя может быть разделен на диапазоны разными методами, в том числе с предварительным логарифмическим масштабированием [35], что открывает возможность сравнения разных территорий между собой при условии использования одной матрицы критериев и весов.

Комплексная оценка ГБТ может быть выполнена в разных масштабах – мелком (мельче 1:1000000) – федеральная и глобальная, среднем (1:200000 – 1:1000000) – региональная; крупном (крупнее 1:200000) – локальная. На кафедре геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ получен опыт по применению

данного подхода при разномасштабной оценке геоморфологической безопасности территории для разных видов природопользования (сельскохозяйственного, селитебного, промышленного и пр.) [32, 36].

В качестве иллюстрации новых возможностей, которые открывает предложенный подход к оценке рельефа для природопользования, рассмотрим крупномасштабную оценку ГБТ для территории южного Подмосковья (бассейн р. Пахры в районе д. Федюково). В настоящее время этот участок – один из немногих оставшихся очагов земледелия в непосредственной близости от Москвы, однако в планах его перспективного развития значатся селитебное и горнопромышленное освоение. С целью определения степени пригодности территории для различных видов природопользования выполнено ее однородное однопризнаковое районирование по значению показателя геоморфологической безопасности. В качестве критериев, учитываемых при оценке, использованы геоморфологические показатели (первая группа: форма и крутизна поверхности, близость к бровкам малых эрозионных форм и к размываемым берегам рек, амплитуда высот в пределах элементарного выдела) и свойства обстановки рельефообразования (вторая группа: особенности строения геологического разреза, уровень грунтовых вод и характер растительности) (табл. 1). Определены диапазоны изменения каждого из учитываемых критериев, проведено их ранжирование (приведение к 4-балльной шкале). Веса для каждого критерия назначены для двух перспективных видов природопользования на данной территории (земледелие и горнопромышленное освоение) на основе экспертной оценки специалистов-геоморфологов (опрошено 24 специалиста, имеющих ученую степень кандидата или доктора наук). Сетка элементарных выделов, для которых производился в последующем расчет интегрального показателя ГБТ, основана на строении рельефа территории на уровне мезоформ и отдельных крупных элементов. Далее для каждого выдела определено (по табл. 1) значение каждого критерия в баллах. Значения эти умножались на соответствующие им квалиметрические коэффициенты. Расчет показателя ГБТ для элементарного выдела выполнен по формуле:

$$\begin{aligned}
 & \text{П(ГБТ)} = \\
 & = \frac{a_1 * A_1 + \dots + a_n * A_n}{Na} + \frac{b_1 * B_1 + \dots + b_n * B_n}{Nb},
 \end{aligned}$$

где П (ГБТ) – показатель геоморфологической безопасности для элементарного выдела; $A_1, A_2 \dots A_n$ – значения критериев первой группы в баллах; $B_1, B_2 \dots B_n$ – значения критериев второй группы в баллах; $a_1, a_2 \dots a_n$ – квалиметрические коэффициенты для критериев первой группы; $b_1, b_2 \dots b_n$ – квалиметрические коэффициенты для кри-

териев второй группы; Na – количество критериев в первой группе; Nb – количество критериев во второй группе.

Для нормирования полученного ряда значений показателя ГБТ используется метод логарифмического масштабирования, предложенный в работе [13]. Результат оценки ГБТ – карта, на которой выделены участки с разными значениями показателя согласно выбранной пятиступенчатой шкале (рис. 1). Построены две оценочные карты, отражающие геоморфологическую безопасность изучаемой территории для земледелия (рис. 1, а) и для горнодобычи (рис. 1, б). Использование разных весов для оценки эффективности двух отличающихся типов природопользования позволяет выбрать оптимальные участки для размещения угодий. В обоих случаях наиболее благоприятными оказались, что объяснимо, днища и склоны малых эрозионных форм, а также крутые борта долин рек и размываемые берега излучин. В то же время результаты оценки показывают, что для земледелия в целом пригодных площадей больше (к таким относятся не только выровненные междуречные пространства, но и пойма за исключением старичных понижений). Территории, пригодные для горнодобычи, расположены, преимущественно, за бровками долин и малых эрозионных форм. Участкам с наиболее высокими значениями показателя ГБТ (от 1.0 до 0.76) соответствуют поверхности, где выбранный тип землепользования будет наиболее эффективным, так как издержки на инженерную защиту и ликвидацию ущерба от воздействия геоморфологических процессов будут малы или же вовсе будут отсутствовать. Напротив, участки с минимальными значениями показателя (0.24–0.0) расположены на поверхностях, где геоморфологические процессы развиваются активнее всего, поэтому использование этих территорий для выбранного вида природопользования неэффективно. Таким образом, применение весовых коэффициентов позволяет учесть специфические требования, предъявляемые каждым видом природопользования к природной среде и, в частности, к рельефу.

Результат оценки предложенным методом существенно зависит от принципов выбора критериев, набор и значения которых принципиально разнятся в равнинных и горных условиях, на суше и дне Мирового океана. Масштаб оценки также влияет на содержание матрицы критериев: при переходе от крупного масштаба к среднему и мелкому числу критериев, характеризующих свойства обстановки рельефообразования (тектонические, климатические и др.), увеличивается.

Таблица 1. Критерии крупномасштабной оценки геоморфологической безопасности территории

| Учитываемый показатель | Диапазоны изменения показателя | Балл | Весовой коэффициент | | |
|--|---|---|-------------------------|-------------------------------------|---|
| | | | для сельского хозяйства | для горно-добывающей промышленности | |
| Крутизна склона | менее 2° | 4 | 0.25 | 0.2 | |
| | 2–15° | 3 | | | |
| | 15–35° | 2 | | | |
| | более 35° | 1 | | | |
| Преобладающая форма склонов | субгоризонтальная поверхность | 4 | 0.2 | 0.05 | |
| | рассеивающая | 3 | | | |
| | прямая | 2 | | | |
| | собирающая | 1 | | | |
| Близость к бровкам малых эрозионных форм и подмываемым берегам рек | удаленность от бровки более 50 м | 4 | 0.1 | 0.1 | |
| | расстояние до бровки или вершины малой эрозионной формы менее 50 м | отсутствуют признаки современной эрозии в малой эрозионной форме, склоны стабильны; в русле – тенденция к аккумуляции (выпуклые берега излучин) | | | 3 |
| | | в малой эрозионной форме наблюдаются признаки склоновых процессов и эрозии в русле; спрямленные участки русел рек без проявления боковой эрозии | | | 2 |
| | | наблюдаются признаки глубинной и боковой эрозии в малых эрозионных формах, интенсивная боковая эрозия в русле | | | 1 |
| Амплитуда высот в пределах элементарного выдела | менее 2 м | 4 | 0.25 | 0.1 | |
| | от 2 до 5 м | 3 | | | |
| | от 5 до 10 м | 2 | | | |
| | более 10 м | 1 | | | |
| Уровень грунтовых вод | круглогодично пониженный (в среднем – более 10 м) | 4 | 0.05 | 0.25 | |
| | крайне редко повышенный (в среднем – 5–10 м) | 3 | | | |
| | стабильно повышенный в период весеннего снеготаяния и во время обильных дождей (в среднем – 5–10 м) | 2 | | | |
| | круглогодично повышенный (зеркало грунтовых вод находится на глубине 0–5 м) | 1 | | | |

Таблица 1. Окончание

| Учитываемый показатель | Диапазоны изменения показателя | Балл | Весовой коэффициент | |
|---|--|------|-------------------------|-------------------------------------|
| | | | для сельского хозяйства | для горно-добывающей промышленности |
| Строение геологического разреза до глубины 10 м (наличие факторов, осложняющих строение геологического разреза) | отсутствие слабых грунтов (карстующихся, органогенных, просадочных, набухающих, водонасыщенных, техногенных, засоленных и пр.) в разрезе | 4 | 0.1 | 0.25 |
| | наличие слабых грунтов (карстующихся, органогенных, просадочных, набухающих, водонасыщенных, техногенных, засоленных и пр.) в разрезе на глубине более 5 м | 3 | | |
| | наличие слабых грунтов (карстующихся, органогенных, просадочных, набухающих, водонасыщенных, техногенных, засоленных и пр.) в разрезе на глубине от 2 до 5 м | 2 | | |
| | слабые грунты (карстующиеся, органогенные, просадочные, набухающие, водонасыщенные, техногенные, засоленные и пр.) залегают с поверхности | 1 | | |
| | Характер растительного покрова | | | |
| Характер растительного покрова | поверхность полностью задернована и залесена (широколиственный лес с подлеском, вторичные леса с подлеском и пр.) | 4 | 0.05 | 0.05 |
| | поверхность задернована (луг, сенокос), с редкими деревьями или кустарниками | 3 | | |
| | поверхность частично задернована и залесена (сосновый лес, ельник-мертвопокровник и пр.) | 2 | | |
| | заболоченные территории, участки с нарушенным растительным покровом | 1 | | |

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ГБТ НА РАВНИНАХ

Равнинный рельеф – ключевой земельный ресурс человечества. Именно на равнинах сосредоточено основное население Земли и, соответственно, селитба и связанные с ней объекты площадного и линейного гражданского строительства. Здесь же – и подавляющее большинство сельскохозяйственных угодий, в первую очередь, – земледельческих, но и немалая доля пастбищных (включая обширные пастбища в тундре и лесотундре). Сравнительно небольшая часть равнинных территорий занята под горнодобывающую промышленность, несколько бóльшая – под лесное хозяйство и рекреационную деятельность. Относительно невелика доля земель спецназначения (оборонные цели), ООПТ (особо охраняемые природные территории) и отнесенных к неудобьям (заметим: обычно по геоморфологическим основаниям) либо к землям запаса.

Основным критерием выделения равнин служит обычно незначительная (не более 200 м) глубина расчленения территории. При этом на равнинах доминирует “мягкий” облик рельефа – плоский, пологоволнистый, пологохолмистый, нередко субгоризонтальный. По гипсометрическим показателям выделяются низменные (до 200 м абс.), возвышенные (200–500 м) равнины и плоскогорья (более 500 м абс.). Наиболее активно используются низменные и возвышенные равнины (около 83% населения Земли живет на абсолютных высотах до 500 м) [37].

Сосредоточение населения нашей планеты на равнинах, в первую очередь, объясняется именно относительно высокой (по сравнению с горами) геоморфологической безопасностью. Здесь существенно меньшая, чем в горных областях, сейсмичность, отсутствуют или редко проявляются катастрофические геоморфологические процессы, обычные в горах, – сели, лавины, крупные обвалы и осыпи. Вместе с тем степень геоморфологической безопасности существенно варьирует

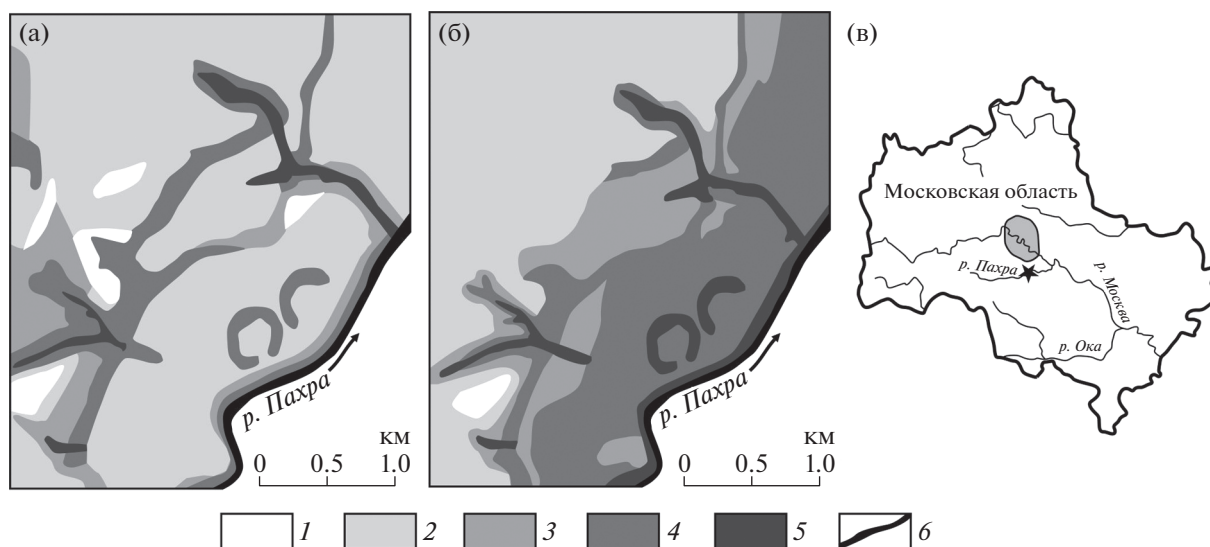


Рис. 1. Геоморфологическая безопасность земледелия (а) и горнодобычи (б) в юго-восточном Подмосковье (фрагмент карты крупномасштабной оценки). Местоположение участка показано звездочкой на схеме (в).

Значения интегрального показателя ГБТ: 1 – очень высокие (1.00–0.76), 2 – высокие (0.76–0.61), 3 – средние (0.61–0.44), 4 – низкие (0.44–0.24), 5 – очень низкие (0.24–0.00); 6 – реки.

на равнинных территориях, и, пожалуй, именно здесь оценка ГБТ представляет собой сложную комплексную задачу, причем дифференциация ГБТ по площади может быть весьма высокой. Рассмотрим конкретные варианты проявления на равнинных территориях некоторых факторов, влияющих на геоморфологическую безопасность. Так, возникновение ряда опасных геоморфологических процессов может быть вызвано составом поверхностных (или залегающих близко к поверхности) горных пород, в частности, – растворимых и, соответственно, карстующихся (карбонаты, сульфаты, хлориды, фосфаты). В таких областях высока вероятность обрушения или проседания поверхности в условиях голого (как, например, в ряде районов Прикаспийской низменности, в Предуралье) или покрытого (центр Восточно-Европейской равнины) карста, а значит – относительно невысокие значения ГБТ. Определенные сочетания водоупорных и водопроницаемых пород в поверхностных толщах могут провоцировать возникновение оползневых процессов, блоков отседания, суффозионных просадок и провалов. В свете сказанного, одним из учитываемых факторов при оценке ГБТ должен быть не только характер поверхностного субстрата, но и в целом тип строения геологического разреза.

Другой значимый фактор (нередко определяющий) – климатическая специфика рельефообразования. Многолетняя мерзлота является важнейшим фактором развития рельефа на обширных площадях (субарктические области Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин, Севе-

ро-Сибирская низменность и др.). Следует отметить, что нередко современные климатические условия обеспечивают сохранение мерзлоты, сформировавшейся в более холодные эпохи плейстоцена (как в Восточной Сибири). Как в пределах ареала многолетней мерзлоты, так и вне его, в условиях избыточного увлажнения и слабо-расчлененного уплощенного рельефа активному освоению территории препятствуют высокая степень заболоченности (как в лесоболотном комплексе Западно-Сибирской равнины, включая крупнейшее в мире Васюганское болото). Сведение лесной растительности в условиях гумидного климата понижает ГБТ из-за увеличения высоты половодий и паводков, а также из-за возрастания опасности активной дефляции и пыльных бурь (с понижением плодородия почв на сельскохозяйственных угодьях). С отсутствием или разреженностью растительного покрова связаны области интенсивной эоловой аккумуляции и/или дефляции, как в гумидном климате (Прибалтика), так и, тем более, в аридном (Туранская равнина и др.). Это обычно области малой плотности населения (в аридном климате) и сравнительно слабого освоения (за исключением участков добычи полезных ископаемых). Соответственно, при оценке ГБТ должны быть учтены влажность/сухость климата (при дифференцированности этого фактора в пределах оцениваемой территории), характер растительного покрова.

Пожалуй, именно в условиях равнинного рельефа особенно наглядно проявляются как факторы при оценке ГБТ, собственно, свойства самого рельефа земной поверхности. На общем фоне

сравнительно малых уклонов участками с пониженной ГБТ становятся площади с повышенной крутизной: опасность оползней и отседания на склонах крутизной более 15°, при определенных геологических условиях; возможность катастрофического делювиального смыва на распаханых склонах крутизной более 8°; активная регрессивная эрозия с уничтожением земельных угодий при наличии крутых вершинных перепадов в малых эрозионных формах; активная боковая эрозия или абразия на речных, озерных и морских берегах и т.д. При прочих равных условиях ГБТ снижается при более высоких значениях расчлененности, в первую очередь, — глубины расчленения. Все перечисленное влияет на степень геоморфологической безопасности равнинных территорий и должно учитываться в расчете показателя ГБТ.

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ГБТ В ГОРАХ

Горные территории, в отличие от равнин, повсеместно отличаются повышенной опасностью природных процессов, особенно геоморфологических. В этой связи развитие природопользования в горах всегда было “вынужденным”. Человека в горы толкали отсутствие сырьевых источников, земельных ресурсов определенного качества, возможность использования барьерных свойств и изолированности рельефа в смысле межплеменных, цивилизационных или межгосударственных отношений. Различные горные регионы планеты с точки зрения качества и условий природопользования представляют для человечества весьма контрастные территории в зависимости от физико-географических, в том числе геоморфологических свойств.

Их следует условно разделить на три типа. Первый объединяет горные регионы, расположенные в условиях умеренного климата континентальной части материков, приполярных и полярных регионов, отличающихся значительным усложнением условия освоения, по сравнению с близ расположенными равнинами в связи с существованием здесь часто экстремальных свойств природной среды. К ним следует отнести, например, горные сооружения Сибири и Дальнего Востока России или горы Аляски. Здесь развиты сырьевые виды природопользования: добыча полезных ископаемых, лесозаготовка и пр. Как правило, к таким территориям принадлежат районы низкогорий и среднегорий, так как в высокогорьях этих широт природопользование практически невозможно. Лишь в последнее время эти экзотические территории стали действительно привлекательными для единственного вида природопользования — рекреационного. Второй тип горных территорий соответствует климатическим условиям, где природопользование связано с

освоением земельных сельскохозяйственных ресурсов, и население “вынуждено” было издавна “идти” в горы для поиска подходящих для произрастания культурных растений температурного режима и увлажнения. Такие регионы служили транспортными коридорами для миграций людей и районами становления многих этносов. К таким горным сооружениям относятся средне- и высокогорные территории с ярко выраженной высотной поясностью экваториальных, субэкваториальных и тропических широт, издавна освоенные человеком лучше, чем окружающие равнины, покрытые влажными лесами или пустынными ландшафтами. Особенно ярко такие отношения между рельефом и природопользованием складывались в Андах и на Восточноафриканском плоскогорье.

Наконец, третий тип — это горные сооружения субтропиков и умеренного климата, находящиеся на окраинах материков, где природопользование развивалось всегда параллельно с освоением окружающих равнин, с учетом природной специфики всех высотных этажей горного рельефа. К таким регионам следует отнести горы Средиземноморья, некоторые горные области субтропического Дальнего Востока. Горный рельеф таких областей всегда давал человеку дополнительные возможности вести невозможные на равнине виды природопользования, такие как лесозаготовка, сельское хозяйство, а в настоящее время — широкий набор рекреационных занятий.

Гораздо более выраженные, в сравнении с равнинами, пространственно-временные колебания факторов и условий рельефообразования в горах приходится учитывать при полимасштабных исследованиях геоморфологической безопасности. Например, значительную пестроту литологии горных пород, определяющую денудационные свойства рельефа, следует принимать во внимание для исследований среднего и крупного масштаба, а климатические характеристики имеют смысл для среднего и мелкого масштабов.

В ряду важнейших критериев при оценке геоморфологической безопасности горной территории стоят морфометрические характеристики рельефа, наличие и динамика триггерных процессов (сейсмичность, вулканизм и пр.), мощность рыхлых отложений, динамика ледников и др. Особенностью крупномасштабной оценки ГБТ горных стран является необходимость использования различающихся наборов критериев для оценки относительно выровненных поверхностей (днищ речных долин, котловин и др.) и остальной части территории, занятой, преимущественно, склонами разной крутизны. Это связано, прежде всего, со спецификой развития селевых и обвально-осыпных процессов, которые затрагивают днища долин в приурезовой и тыловой частях, что приводит к возникновению критериев

близости (к руслу, к тыловым швам долины), теряющих смысл для прочих участков территории.

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДНА МИРОВОГО ОКЕАНА

С середины XX века существенно изменилось отношение человечества к Мировому океану: вслед за осознанием природного богатства морских глубин началось направленное освоение минерально-сырьевых ресурсов. За прошедшие десятилетия в природопользование были вовлечены обширные пространства дна Мирового океана, в основном, — область шельфа. В отличие от суши, видов природопользования на морском дне немного. Это горнопромышленное морское (добыча углеводородов и строительных материалов, разработка россыпных месторождений); охотопромысловое морское (донное траление); энергопередаточное (прокладка силовых кабелей по дну); трубопроводное (транспортировка сырья, воды, сточных вод и др.); транспортно-морское (эксплуатация судоходных каналов); отходосвалочное (свалки грунта); транспортно-подземное (тоннели под морскими проливами); культурно-мемориальное (затонувшие суда); железнодорожное и автодорожное (мосты через морские проливы) [38]. Основные виды подводных инженерных сооружений — точечные (буровые платформы, опоры мостов и др.) и линейные (кабели связи и силовые, трубопроводы и др.).

Эффективность морского природопользования во многом зависит от спектра опасных явлений, в том числе геоморфологических, протекающих на конкретном участке дна. Помимо процессов, характерных и для суши (вулканизм, гравитационные, криогенные процессы и пр.), на дне океана развиты и специфические, к примеру, формирование рельефа придонными течениями, стонно-нагонными и приливно-отливными явлениями, мутьевыми потоками; в результате процессов дегазации осадочного чехла (покмарки и др.); процессы ледового морфолитогенеза, связанные с рельефообразующей деятельностью айсбергов, плавучих и припайных льдов.

При оценке геоморфологической безопасности морского дна необходимо учитывать дополнительные критерии, в частности, океанологические (характерные скорости придонных течений, температура придонных вод, свойства ледового покрова и др.). Составление матриц критериев оценки ГБТ для морского дна существенно осложняется сравнительно низкой изученностью процессов подводного морфолитогенеза. К настоящему моменту лишь малая часть дна Мирового океана обеспечена детальными батиметрическими цифровыми картами, а сведения о геологическом строении дна еще более скудны.

Вместе с тем при изучении геологического строения дна активно используются геофизические методы (непрерывное сейсмическое профилирование и пр.), поэтому геофизические параметры донных пород (скорость распространения волн, акустическая прозрачность и пр.) могут быть использованы в качестве критериев, ранжированы и учтены в общей оценке ГБТ.

ВЫВОДЫ

Методический подход к комплексной оценке рельефа для целей природопользования, основанный на расчете интегрального показателя геоморфологической безопасности, является универсальным как с точки зрения масштаба, так и в отношении учета специфики разных видов природопользования. Он дополняет комплекс имеющихся наработок в области оценки взаимодействия рельефа, хозяйства и общества, а также роли рельефа в жизни человека [9, 11, 14, 15 и др.]. Представление сведений об интенсивности морфолитогенеза в виде карт районирования по степени ГБТ, выраженной через безразмерный показатель, удобно для потенциальных потребителей данной информации (представителей министерств и ведомств, региональных управлений, частных землепользователей и пр.). Использование карт ГБТ для учета геоморфологических условий в кадастровой стоимости земель позволит создать основу для более объективной ценовой политики, а также обоснованного управления инвестициями (в том числе государственными). Результаты оценки ГБТ должны учитываться при разработке стратегий территориального развития, генеральных планов застройки, определении ведущих векторов развития и освоения. В то же время оценка ГБТ имеет не только практический интерес. Анализ разномасштабных карт оценки ГБТ, а также карт ГБТ освоенных территорий с разным ведущим типом природопользования позволяет определить степень значимости рельефа и геоморфологических процессов в развитии социально-геоморфологических систем в разных природных условиях и с разной историей становления.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках темы госзадания “Эволюция природной среды, динамика рельефа и геоморфологическая безопасность природопользования” (№ АААА-А16-116032810089-5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обзор Иокогамской стратегии и Плана действий по обеспечению более безопасного мира. Кобе. 2004. 30 с.

2. Природные опасности России. Т. 5. Оценка и управление природными рисками / под ред. А.Л. Рагозина. М.: КРУК, 2003. 320 с.
3. Кошкарев А.В., Козлова А.Е., Лихачёва Э.А., Мерзлякова И.А., Тимофеев Д.А., Чеснокова И.В. Геоморфологическая опасность и риск // Изв. РАН. Сер. геогр. 2001. № 5. С. 1–8.
4. Курбатова А.С., Мягков С.М., Шныпарков А.Л. Природный риск для городов России. М.: НИИПИ экологии города, 1997. 240 с.
5. Федеральный закон “О безопасности” № 2446-1-ФЗ. 1992.
6. Федеральный закон “О безопасности” № 390-ФЗ. 2010.
7. Доклад Всемирной конференции ООН по уменьшению опасности стихийных бедствий. Иокогама. 1994. 57 с.
8. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. М.: Знание, 1999. 703 с.
9. Кружалин В.И. Эколого-геоморфологический анализ территории // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1997. № 4. С. 11–15.
10. Чалов Р.С., Чернов А.В. Районирование территории России по экологическому состоянию речных русел и пойм // Проблемы оценки экологической напряженности территории России: факторы, районирование. М.: Изд-во МГУ, 1993. С. 66–72.
11. Крашенинникова С.В. К вопросу об эколого-геоморфологической оценке территории города // Изв. ПГПУ. Естественные науки. 2006. № 1(5). С. 150–154.
12. Дмитриев В.В. Определение интегрального показателя состояния природного объекта как сложной системы // Общество. Среда. Развитие. 2009. № 4. С. 146–165.
13. Битюкова В.Р. Интегральная оценка экологической ситуации городов России // Региональные исследования. 2014. № 4. С. 49–57.
14. Лебедева Е.В., Шварев С.В., Готванский В.И. Природно-обусловленная напряженность геоморфологических процессов территории Дальнего Востока России // Геоморфология. 2014. № 4. С. 48–59. <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2014-4-48-59>
15. Лебедева Е.В., Михалёв Д.В., Шварев С.В. Напряженность геоморфологических обстановок центрального сектора горной системы Анд // Геоморфология. 2015. № 2. С. 77–88. <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2015-2-77-88>
16. Лихачёва Э.А., Шварев С.В., Аникина Н.В. Геоморфологическая оценка территориальных ресурсов Новой Москвы // Геоморфология. 2015. № 1. С. 77–87. <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2015-1-77-87>
17. Симонов Ю.Г., Кружалин В.И., Симонова Т.Ю. Методы диагностики экологически опасных воздействий на рельеф / Инженерно-геоморфологические исследования / под ред. Г.А. Сафьянова. М.: Изд-во МГУ, 1995. С. 177–184.
18. Лихачёва Э.А., Бахирева Л.В., Станковянски М., Урбанек Я. Оценка состояния городской морфолито-системы (на примере Москвы и Братиславы) // Геоморфология. 1991. № 1. С. 30–42.
19. Трацевская Е.Ю. Оценка геологических рисков на территории г. Гомель // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2006. № 2. С. 124–134.
20. Аникеев А.В., Рагозин А.Л., Селезнев В.Н. Оценка геологического риска на участке городского строительства // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2007. № 6. С. 547–560.
21. Бондарик Г.К., Иерусалимская Е.Н., Ярг Л.А. Особенности методики оценки риска экзогенных геологических процессов на региональном уровне // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. 2006. № 1. С. 48–52.
22. Маций С.И., Безуглова Е.В. Оползневая опасность и риск смещений грунтов на склонах // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2007. № 6. С. 537–546.
23. Лапердин В.К., Качура Р.А. Криогенные опасности в зонах линейных природно-технических комплексов на юге Восточной Сибири // Криосфера Земли. 2009. Т. XIII. № 2. С. 27–34.
24. Зеркаль О.В. Оценка геологических рисков в практике инженерных изысканий // Инженерные изыскания. 2009. № 9. С. 40–43.
25. Викторов А.С. Количественная оценка природных опасностей на основе методов математической морфологии ландшафта // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2005. № 4. С. 291–297.
26. Козловский С.В., Шешеня Н.Л. Прогнозирование геологических опасностей и риска их проявлений, как составная часть пространственно-временной системы // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. 2010. № 6. С. 59–61.
27. Бондарик Г.К., Иерусалимская Е.Н., Ярг Л.А. Объективная оценка устойчивости геологической среды к техногенным взаимодействиям и приемы ее корректного картографирования // Инженерная геология. 2008. № 4. С. 4–13.
28. Молодых И.И., Сироткин Д.В. Задачи, проблемы, перспективы инженерно-геологического картографирования и экологическая безопасность территорий // Разведка и охрана недр. 2014. № 8. С. 40–43.
29. Шныпарков А.Л., Колтерманн П.К., Селиверстов Ю.Г., Сократов С.А., Перов В.Ф. Селевой риск на Черноморском побережье Кавказа // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2013. № 3. С. 42–48.
30. Осипов В.И. Техногенез и современные задачи наук о Земле // Экология и промышленность России. Т. 20. № 3. 2016. С. 4–12. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2016-3-4-12>
31. Грохольский Н.С. Методика определения интегрального риска экзогенных геологических процессов // Геориск. 2013. № 2. С. 46–47.
32. Болысов С.И., Бредихин А.В., Еременко Е.А. Комплексная мелкомасштабная оценка геоморфологической безопасности России // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2016. № 2. С. 3–12.

33. *Азгальдов Г.В., Райхман Э.П.* О квалитетрии. М.: Изд-во стандартов, 1973. 172 с.
34. *Ковалев В.В., Волкова А.Н.* Анализ хозяйственной деятельности предприятия. М.: ТК Велби, 2002. 424 с.
35. *Битюкова В.Р., Кириллов П.Л.* Методы комплексной оценки региональных различий экологической напряженности в России // Региональные исследования. 2011. № 1. С. 56–69.
36. *Болысов С.И., Бредихин А.В., Еременко Е.А.* Подходы к оценке геоморфологической безопасности территорий // Вопросы географии. Сб. 140. Современная геоморфология. 2015. С. 29–55.
37. Экологическая геоморфология. Ключевые направления / под ред. С.И. Болысова. М.: Геогр. факультет МГУ, 2013. 168 с.
38. *Зворыкин К.В.* Географическая концепция природопользования // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1993. № 3. С. 3–16.

A new approach to complex relief assessment for effective environmental management

E. A. Eremenko^{a, #}, Y. R. Belyaev^a, S. I. Bolysov^a, V. I. Myslivets^a, and A. V. Bredikhin^a

^a *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia*

[#] *E-mail: eremenkoeaig@gmail.com*

A new approach to complex assessment of relief for environmental management based on quantitative index of geomorphological safety is developed. The «geomorphological safety» concept, and its implementation as a special type of natural safety is fully determined and proved. The short review of scientific works in the field of risk assessment of geomorphological hazards, stability and vulnerability is provided. An algorithm for conducting a comprehensive assessment of geomorphological safety based on a balanced consideration of factors and conditions of relief development in a particular territory is presented. The procedure and result of evaluation, also the significance of introducing weight coefficients in order to take into account the specifics of land-use are demonstrated using the example of a large-scale assessment of the geomorphological safety of agriculture and mining at a key site in the south of Moscow region. For plain and mountainous topography, as well as for the bottom of the World ocean, the specificity of the assessment procedure by the developed method is emphasized. An overview of significant criteria that should be taken into account when calculating the geomorphological safety index at different scales is given.

Keywords: geomorphological safety, complex index, geomorphological risk, hazard, land-use

ACKNOWLEDGMENTS

The study was founded by the State Program (№ AAAA-A16-116032810089-5) “Evolution of the environment, relief dynamics and geomorphological safety of environmental management”.

REFERENCES

1. *Obzor Iokogamskoi strategii i Plana deistviy po obespecheniju bolee bezopasnogo mira* (Review of the Yokohama strategy and Action plan for providing safer world). Kobe. 2004. 30 p. (in Russ.)
2. *Prirodnye opasnosti Rossii. Tom. 5. Ocenka i upravlenie prirodnymi riskami* (Natural dangers of Russia. Vol. 5. Assessment and management of natural risks). A.L. Ragozin (Eds.). M.: KRUK (Publ.), 2003. 320 p. (in Russ.)
3. Koshkarev A.V., Kozlova A.E., Likhacheva E.A., Merzlyakova I.A., Timofeev D.A., and Chesnokova I.V. *Geomorfologicheskaya opasnost' i risk*. (Geomorphological danger and risk). *Izvestia AN. Seriya Geogr.* 2001. No. 5. P. 1–8. (in Russ.)
4. Kurbatova A.S., Myagkov S.M., and Shnyparkov A.L. *Prirodnyi risk dlya gorodov Rossii* (Natural risk for the cities of Russia). M.: NiiPI ekologii goroda (Publ.), 1997. 240 p. (in Russ.)
5. *Federal'nyi zakon “O bezopasnosti”* (Federal law “About Safety”) No. 2446-1-FZ. 1992.
6. *Federal'nyi zakon “O bezopasnosti”* (Federal law “About Safety”) No. 390-FZ. 2010.
7. *Doklad Vsemirnoi konferentsii OON po umen'sheniyu opasnosti stikhiinykh bedstvii*. (Report of the UN World Conference on Disaster Risk Reduction). Iokogama. 1994. 57 p. (in Russ.)
8. *Bezopasnost' Rossii. Pravovye, sotsial'no-ekonomicheskie i nauchno-tekhnicheskie aspekty*. (Safety of Russia. Legal, social and economic and scientific and technical aspects). M.: Znanie (Publ.), 1999. 703 p. (in Russ.)
9. Kruzhalin V.I. *Ekologo-geomorfologicheskii analiz territorii*. (Eco-geomorphological analysis of the territory). *Vestnik MGU. Ser. 5. Geografiya*. 1997. No. 4. P. 11–15. (in Russ.)
10. Chalov R.S. and Chernov A.V. *Raionirovanie territorii Rossii po ekologicheskomu sostoyaniyu rechnykh rusel i poim*. (Geographical zoning of Russia on an ecological condition of river channels and floodplains). *Problemy otsenki ekologicheskoi napryazhennosti territorii Rossii: factory, raionirovanie*. M.: MGU (Publ.), 1993. P. 66–72. (in Russ.)
11. Krasheninnikova S.V. *K voprosu ob ekologo-geomorfologicheskoi otsenke territorii goroda*. (About eco-geo-

- morphological assessment of the territory of the city). *Izvestiya PGPU. Estestvennye nauki*. 2006. No. 1 (5). P. 150–154. (in Russ.)
12. Dmitriev V.V. *Opreделение integral'nogo pokazatelya sostoyaniya prirodnogo ob'ekta kak slozhnoi sistemy*. (Definition of a complex index of a condition of a natural object as a complex system). *Obshchestvo. Sreda. Razvitie*. 2009. No. 4. P. 146–165. (in Russ.)
 13. Bityukova V.R. *Integral'naya otsenka ekologicheskoi situatsii gorodov Rossii*. (Integrated assessment of an ecological situation of the cities of Russia). *Regional'nye issledovaniya*. 2014. No. 4. P. 49–57. (in Russ.)
 14. Lebedeva E.V., Shvarev S.V., and Gotvanskii V.I. *Prirodno-obuslovlennaya napryazhennost' geomorfologicheskikh protsessov territorii Dal'nego Vostoka Rossii*. (The natural caused tension of geomorphological processes of the territory of the Far East of Russia). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2014. No. 4. P. 48–59. (in Russ.).
<https://doi.org/10.15356/0435-4281-2014-4-48-59>
 15. Lebedeva E.V., Mikhalev D.V., and Shvarev S.V. *Napryazhennost' geomorfologicheskikh obstanovok tsentral'nogo sektora gornoj sistemy And*. (Tension of geomorphological situations of the central sector of Andes). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2015. No. 2. P. 77–88. (in Russ.).
<https://doi.org/10.15356/0435-4281-2015-2-77-88>
 16. Likhacheva E.A., Shvarev S.V., and Anikina N.V. *Geomorfologicheskaya otsenka territorial'nykh resursov Novoi Moskvy*. (Geomorphological assessment of territorial resources of New Moscow). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2015. No. 1. P. 77–87. (in Russ.).
<https://doi.org/10.15356/0435-4281-2015-1-77-87>
 17. Simonov Yu.G., Kruzhalin V.I., and Simonova T.Yu. *Metody diagnostiki ekologicheskii opasnykh vozdeystvii na rel'ef*. (Methods of diagnostics of ecologically dangerous impacts on a relief). *Inzhenerno-geomorfologicheskie issledovaniya*. G.A. Saf'yanov (Ed.). M.: MGU (Publ.), 1995. P. 177–184. (in Russ.)
 18. Likhacheva E.A., Bakhireva L.V., Stankovyanski M., and Urbanek Ya. *Otsenka sostoyaniya gorodskoi morfologicheskoi sistemy (na primere Moskvy i Bratislavy)*. (Assessment of a condition of urban geomorphological systems (on the example of Moscow and Bratislava)). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1991. No. 1. P. 30–42. (in Russ.)
 19. Tratsevskaia E.Yu. *Otsenka geologicheskikh riskov na territorii g. Gomel'*. (Assessment of geological risks in the territory of Gomel). *Geoekologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. 2006. No. 2. P. 124–134. (in Russ.)
 20. Anikeev A.V., Ragozin A.L., and Seleznev V.N. *Otsenka geologicheskogo riska na uchastke gorodskogo stroitel'stva*. (Assessment of geological risk on the site of construction). *Geoekologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. 2007. No. 6. P. 547–560. (in Russ.)
 21. Bondarik G.K., Ierusalimskaya E.N., and Jarg L.A. *Osobennosti metodiki otsenki riska ekzogennykh geologicheskikh protsessov na regional'nom urovne*. (Features of a procedure of assessment of risk of exogenous geological processes at the regional level). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Geologiya i razvedka*. 2006. No. 1. P. 48–52. (in Russ.)
 22. Matsii S.I. and Bezuglova E.V. *Opolznevaya opasnost' i risk smeshchenii gruntov na sklonakh*. (Landslide hazard and risk of shifts of soil on slopes). *Geoekologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. 2007. No. 6. P. 537–546. (in Russ.)
 23. Laperdin V.K. and Kachura R.A. *Kriogennyye opasnosti v zonakh lineinykh prirodno-tekhnicheskikh kompleksov na yuge Vostochnoi Sibiri*. (Cryogenic dangers in zones of linear technical complexes in the south of Eastern Siberia). *Kriosfera Zemli*. 2009. Vol. XIII. No. 2. P. 27–34. (in Russ.)
 24. Zerkal' O.V. *Otsenka geologicheskikh riskov v praktike inzhenernykh izyskaniy*. (Assessment of geological risks in practice of engineering research). *Inzhenernye izyskaniya*. 2009. No. 9. P. 40–43. (in Russ.)
 25. Viktorov A.S. *Kolichestvennaya otsenka prirodnykh opasnostei na osnove metodov matematicheskoi morfologii landshafta*. (Quantitative assessment of natural dangers on the basis of methods of mathematical morphology of a landscape). *Geoekologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. 2005. No. 4. P. 291–297. (in Russ.)
 26. Kozlovskii S.V. and Sheshenya N.L. *Prognozirovaniye geologicheskikh opasnostei i riska ikh proyavlenii, kak sostavnaya chast' prostranstvenno-vremennoi sistemy*. (Forecasting of geological dangers and risk of their manifestations as an integral part of the space-time system). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Geologiya i razvedka*. 2010. No. 6. P. 59–61. (in Russ.)
 27. Bondarik G.K., Ierusalimskaya E.N., and Jarg L.A. *Ob'ektivnaya otsenka ustoichivosti geologicheskoi sredy k tekhnogennym vzaimodeystviyam i priemy ee korrektnogo kartografirovaniya*. (Objective assessment of resistance of the geological environment to technogenic interactions and methods of its correct mapping). *Inzhenernaya geologiya*. 2008. No. 4. P. 4–13. (in Russ.)
 28. Molodykh I.I. and Sirotkin D.V. *Zadachi, problemy, perspektivy inzhenerno-geologicheskogo kartografirovaniya i ekologicheskaya bezopasnost' territorii*. (Tasks, problems, prospects of engineering-geological mapping and ecological safety of territories). *Razvedka i okhrana nedr*. 2014. No. 8. P. 40–43. (in Russ.)
 29. Shnyparkov A.L., Koltermann P.K., Seliverstov Yu.G., Sokratov S.A., and Perov V.F. *Selevoi risk na Chernomorskom poberezh'e Kavkaza*. (Mudflow risk on the Black Sea coast of the Caucasus). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 5. Geografiya*. 2013. No. 3. P. 42–48. (in Russ.)
 30. Osipov V.I. *Tekhnogenez i sovremennyye zadachi nauk o Zemle*. (Tekhnogenesis and modern problems of Earth sciences). *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2016. Vyp. 20. No. 3. P. 4–12. (in Russ.).
<https://doi.org/10.18412/1816-0395-2016-3-4-12>
 31. Grokhol'skii N.S. *Metodika opredeleniya integral'nogo riska ekzogennykh geologicheskikh protsessov*. (Technique of determination of integrated risk of exogenous geological processes). *Georisk*. 2013. No. 2. P. 46–47. (in Russ.)
 32. Bolysov S.I., Bredikhin A.V., and Eremenko E.A. *Kompleksnaya melkomasshtabnaya otsenka geomorfologicheskoi bezopasnosti Rossii*. (Complex small-scale as-

- assessment of geomorphological safety of Russia). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 5. Geografiya*. 2016. No. 2. P. 3–12. (in Russ.)
33. Azgal'dov G.V. and Raikhman E.P. *O kvalimetrii*. (Qualimetry). M.: Izdatel'stvo standartov. 1973. 172 p. (in Russ.)
34. Kovalev V.V. and Volkova A.N. *Analiz khozyaistvennoi deyatel'nosti predpriyatiya*. (Analysis of economic activity of the enterprise). M.: TK Velbi (Publ.), 2002. 424 p. (in Russ.)
35. Bitukova V.R. and Kirillov P.L. *Metody kompleksnoi otsenki regional'nykh razlichii ekologicheskoi napryazhennosti v Rossii*. (Methods for a complex assessment of regional differences in ecological tension in Russia). *Regional'nye issledovaniya*. 2011. No. 1. P. 56–69. (in Russ.)
36. Bolysov S.I., Bredikhin A.V., and Eremenko E.A. *Podkhody k otsenke geomorfologicheskoi bezopasnosti territorii*. (Approaches to assessment of geomorphological safety of territories). *Voprosy geografii. Sb. 140. Sovremennaya geomorfologiya*. 2015. P. 29–55. (in Russ.)
37. *Ekologicheskaya geomorfologiya. Klyucheveye napravleniya*. (Ecological geomorphology. Key directions). S.I. Bolysov (Ed.). M.: Geograficheskii fakul'tet MGU (Publ.), 2013. 168 p. (in Russ.)
38. Zvorykin K.V. *Geograficheskaya kontseptsiya prirodopol'zovaniya*. (The geographical concept of land-use). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 5. Geografiya*. 1993. No. 3. P. 3–15. (in Russ.)