

УДК 551.4, 624.1

С.И. Большов¹, В.А. Неходцев²**КОНЦЕПЦИЯ СУБРЕЛЬЕФА – РЕЛЬЕФА ПОДЗЕМНЫХ ПОЛОСТЕЙ**

В географической науке существует несоответствие общепринятого толкования рельефа как объекта геоморфологической науки и специфики положения, морфологии и изучения «рельефа» подземных полостей. В статье предлагается концепция геоморфологического (и географического) научного изучения подземных полостей. Для обозначения твердой поверхности подземных полостей авторы используют термин «субрельеф» (буквально – ПОД рельефом и ПОЧТИ рельеф), исходя из устоявшегося представления о рельефе как совокупности неровностей твердой ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ. Предложены терминологический аппарат, генетическая классификация форм субрельефа, глубинное деление (зонирование) подземных полостей, указаны границы применимости концепции. В статье раскрываются особые свойства подземных полостей – такие, как объемная замкнутость отрицательных форм, значительная обособленность от поверхностных процессов, глубинная зональность. Подземные пустоты являются местами обитания реликтовых и уникальных представителей флоры и фауны. С субрельефом связан целый ряд опасных и неблагоприятных процессов, особенно на урбанизированных территориях.

Ключевые слова: геоморфология, пещеры, подземные формы рельефа, полость, субрельеф, теоретическая геоморфология

Введение. Положение знаний о подземных полостях в системе наук весьма многогранно ввиду их широкого использования и специфичности, но, по-видимому, в первую очередь входит в область интересов геологии (говоря о веществе, в котором образованы полости) и геоморфологии (изучение морфологии, генезиса, возраста и динамики твердой поверхности подземных полостей). Геоморфология – наука о рельефе земной поверхности, его строении, происхождении, истории развития и современной динамике. А рельеф, в соответствии с общепринятым определением, – совокупность неровностей твердой земной ПОВЕРХНОСТИ (либо поверхности иных твердых планетных тел). Вместе с тем, активно изучаются в рамках геоморфологии и подземные полости (находящиеся ПОД поверхностью, т. е. ПОД рельефом), которые в значительной степени определяют морфодинамические условия системы «геологическая среда – подземная полость – рельеф». Функциональная связь весьма сложна: появляясь обычно как новообразования геологической среды, подземные полости, в свою очередь, начинают сами оказывать на нее значительное влияние, например, могут быть каналами разгрузки грунтовых вод, приводить к разуплотнению грунтов и т. д. Все это оказывает влияние и на рельеф; квинтэссенция такого влияния – деформации земной поверхности (воронки, мульды проседания, карстовые колодцы, слепые овраги и т. д.). В неоднородных литифицированных осадках типа песчаников и конгломератов, т. е. в геологической среде, полости создаются и отчасти с поверхности – тафони, ниши выдувания, водобойные гроты и пещеры на побережьях.

Вместе с тем, к настоящему времени в геоморфологической науке не сложилось целостных концептуальных подходов к изучению подземных полостей, особенно антропогенно-техногенного происхождения. В этом направлении пока не разработаны обоснованная методология и полноценный терминологический аппарат, существует и определенная путаница в понятиях «подземный рельеф» и «погребенный рельеф», на что указывали многие авторы [Галицкий, 1974; Большов, 2007]. В меньшей степени это касалось карста, изученного геологами, геоморфологами и спелеологами весьма детально.

Научное изучение подземных полостей (спелеология) начало развиваться примерно с 1890-х годов, в первую очередь, усилиями Э.А. Мартеля [Martel, 1905], общее число публикаций которого превысило 1000. Дальнейшее развитие спелеологии и карстологии связано с фундаментальными работами А.А. Крубера [1915 и др.], Corbel [1959], И.С. Щукина [1964], Н.А. Гвоздецкого [1972, 1981], А.Г. Чикишева [1975], В.Н. Дублянского, А.А. Колодяжной, Coman [1984] и др. В 2000-е годы стали появляться крупные зарубежные обобщающие энциклопедии о пещерах. В 2004 выходит Encyclopedia of Caves and Karst Science [Gunn, 2004], в 2005 и 2012 годах выйдут два издания Encyclopedia of Caves [Culver, White, 2005] и Encyclopedia of Caves. Second Edition [White, Culver, 2012], в которых собраны статьи как по отдельным пещерным системам, так и по различным биологическим, геологическим, методическим аспектам. Искусственные полости в этих энциклопедиях практически не показываются.

Спрос на освоение подземного пространства городов неуклонно растет по всему миру. Об этом

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, кафедра геоморфологии и палеогеографии, профессор, докт. геогр. н.; e-mail: sibol1954@bk.ru

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, кафедра геоморфологии и палеогеографии, соискатель; e-mail: baban.n@mail.ru

свидетельствуют обширные современные исследования по территориям таких городов, как Найроби, Ханой, Пекин. Особое внимание освоению подземного пространства уделяется в островном Сингапуре [Мукаби с соавт., 2012]. На территории Москвы, конечно, тоже проводятся инженерные изыскания, преимущественно архитектурными и проектирующими организациями [Корогаев, 2009, 2011]. Тем не менее, до сих пор нет обобщающих концептуальных работ, рассматривающих всесторонне и целостно «рельеф» подземных полостей и его место в объекте и предмете геоморфологии.

Целью настоящей работы является разработка концепции субрельефа как системы взглядов и принципов геоморфологического изучения «рельефа» подземных полостей.

Постановка проблемы. Центральным объектом нашего исследования является «рельеф» подземных полостей, а предметом – его морфология, генезис, история формирования (создания), развития и современная динамика. Между тем, в современной геоморфологии пока нет универсальной классификации форм рельефа, расположенных на разновозрастных поверхностях земной коры – видимой (дневной) и погребенной (подземных форм). Нет также единства в употреблении терминов, характеризующих объекты геоморфогенеза, расположенные ниже дневной поверхности.

В литературе регулярно используется термин «подземный рельеф», хотя есть два нередко взаимоисключающих подхода к пониманию этой категории – широкий и узкий. В широком смысле под подземным рельефом понимают совокупность погребенных поверхностей (палеорельефа) и поверхностей подземных полостей различного генезиса. Но внутренняя поверхность полостей (в отличие от палеорельефа) во многом соответствует классическому представлению рельефа земной поверхности как границы раздела твердых масс литосферы с подвижными сферами, поэтому необходимо их строгое разграничение. Это проблема терминологического характера, дополняемая отсутствием подходящего и четко обозначенного термина для подземного «рельефа». Зачастую морфологически подземный и погребенный рельеф может одинаково проявляться, в том числе, будучи экспонированным на современную дневную поверхность. Например, погребенная карстовая воронка раннеюрского возраста и современная обваливающаяся полость обычно проявляются на поверхности одинаково – депрессией. Вместе с тем, и условия происхождения, и история развития, и современная динамика, и дальнейшее развитие подобных форм существенно различаются. Поэтому принципиально важно разделять эти два комплекса форм, хотя по своему положению все они формально могут быть подземными (т. е. располагаться ниже дневной поверхности).

Еще в 1974 году В.И. Галицкий указывал на существующую в геоморфологии терминологическую проблему. Неопределенное содержание включается в термин «подземный рельеф». Так, напри-

мер, Boye, Mouline, Platviel, Vaguier (1968) употребляют термины «подземная топография», «подземный рельеф третичного субстрата». Ю.Ф. Чемяков (1970) в категорию подземного рельефа включает погребенный наземный рельеф, образуемый под земной поверхностью экзогенными (карстовыми и др.) процессами, а также интрузивно-вулканогенный рельеф, возникающий в толще Земли. В данном случае объединяются рельеф, образованный на поверхности Земли (погребенный, преобразованный карстовыми процессами), и геологические тела (интрузивно-вулканические), возникающие на какой-то глубине в земной коре» [Галицкий, 1974, с. 38–39]. Осложняют представления о подземном рельефе и некоторые другие определения. Например, «подземным рельефом называется совокупность неровностей поверхностей структур, созданная в литосфере. Это рельеф интрузивных тел (батолитов, лакколлитов, межпластовых интрузий и т. д.), разрывов со смещением, соляных штоков и пр., возникших не на поверхности Земли, а на некоторой глубине» [Веклич, 1966]. Поверхности геологических тел во многих случаях даже не связаны напрямую с рельефом поверхности земной коры.

«Отмечается некоторая несогласованность в употреблении термина «погребенный рельеф», ... в этот термин часто вкладывается очень неопределенное содержание. Так, например, Н.П. Кузнецов (1966), описывая «погребенные денудационные поверхности», отмечает, что они деформированы под влиянием тектонических движений. Неопределенность значения термина в данном случае заключается в том, что в нем нет указания на время деформации этих поверхностей (до или после их захоронения). По существу же под «погребенным рельефом» автор понимает рельеф в его современном состоянии, т. е. преобразованном после захоронения» [Галицкий, 1974, с. 38].

Авторами предлагается следующий подход к использованию терминов «погребенный рельеф» и «подземный рельеф». Наиболее явное различие заключается собственно в условиях и истории их формирования. Погребенный рельеф (палеорельеф) обычно образуется изначально как совокупность поверхностных форм, а затем перекрывается более поздними отложениями. Поверхности же геологических тел (например, батолита), перекрытых осадками, с геоморфологических позиций рельефом не являются и лучше их называть «поверхностями геологических тел». Под формами подземного рельефа мы понимаем те, которые образуются обычно изначально ниже земной поверхности, внутри толщи уже залегающих горных пород. В процессе образования подземные формы (например, современные карстовые полости) могут проявляться и на дневной поверхности в виде понижений или (в других случаях) возвышений, однако это будут уже формы наземные, хотя и частично или полностью подземного генезиса. По терминологической логике, подобные подземные образования можно называть «субтерральными» (буквально – подземными), про-

должая ряд терминов «субаэральные» (наземные, т. е. подвоздушные) и «субаквальные» (подводные). Термин «субтерральные» предложил Н.И. Николаев [1946] для отложений, формирующихся изначально в подземной среде, в первую очередь – в карстовых полостях (сталактиты, «пещерный жемчуг» и т. п.). Очевидно, что термин «субтерральные» может использоваться не только для отложений, образующихся в подземной среде, но и для форм рельефа.

Исходя из предлагаемой трактовки, под категорию «подземный рельеф» могли бы подпадать поверхности полостей типа пещер и лавовых тоннелей. Однако, нельзя не отметить, что эти поверхности опять же, строго говоря, не являются рельефом, поскольку находятся ПОД тем, что мы называем рельефом. Ведь рельеф, как указано выше, – совокупность неровностей твердой земной ПОВЕРХНОСТИ. В этой связи возникает терминологическая и, соответственно, эпистемологическая проблема, которая реально существует в геоморфологической науке, давно уже изучающей подземный рельеф. На это несоответствие в 2007 г. обращал внимание один из авторов: «... Пожалуй, можно дать 2 обоснования отнесения подобных форм к объекту геоморфологии. Одно из них – традиции нашей науки, а именно изучение всего комплекса образований, формирующихся в результате единого процесса (карстового либо биогенного), как надземных (карстовые воронки, слепые овраги, искорные ямы, поверхностные норы и др.), так и подземных. Другое возможное объяснение – изучение подземных форм как одной из стадий развития форм, которые потенциально могут быть трансформированы в формы поверхностные вследствие провалов либо их вскрытия за счет деятельности соответственно подземных вод или землероев. Так или иначе, на наш взгляд, положение подземных форм разного генезиса в классификационных рядах до сих пор остается проблематичным в геоморфологической науке» [Болысов, 2007, с. 347].

Материалы и методы исследования. Статья представляет собой результат критического анализа и обобщения литературы по рельефу подземных полостей (всего около 190 публикаций). Представления о сущности субрельефа невозможно было бы без проведенных натурных наблюдений – подземных (собственно в полостях) и наземных (над ними). Одним из авторов статьи за 10 лет лично проведено несколько сотен полевых маршрутов (суммарно около 1000 км); в Москве и Подмоскowie, в Киеве проводились полустационарные наблюдения. Набрана фототека примерно по 500 подземным объектам. Основные районы исследований – крупные европейские города и агломерации (Москва, Киев, Париж, Лодзь, Прага, Брюссель, Антверпен, Вена, Кишинев и др.) и отдельные регионы: Лимбург, Поволжье, Гранд-Эст (Франция), Иль-де-Франс, Польша, Подмоскowie, Крым, Хибины и др. Содержательная часть результатов частично публиковалась авторами ранее [Болысов, Неходцев, 2016; Болысов с соавт., 2017].

Рассмотрение результатов. Концепция субрельефа – «рельефа» подземных полостей. Для обозначения поверхности подземных полостей нами предлагается употреблять термин «субрельеф», впервые использованный в 2011 году [Болысов, Неходцев, 2011]. Приставка «суб-» несет два значения: 1) расположенный под, ниже чего-либо; 2) неосновной, находящийся в подчинении, зависимости, вторичный либо переходный. Оба значения вполне отражают сущность подземных форм «рельефа» – они расположены «под», ниже твердой земной поверхности, и они представляют собой нередко формы, переходные к «обычным» неровностям земной поверхности. Гносеологически термин «субрельеф» устраняет несоответствие общепринятого толкования рельефа как объекта геоморфологической науки и специфики положения и морфологии подземных форм (как и их изучения). К формам субрельефа относятся из экзогенных многие карстовые, суффозионные и биогенные формы, некоторые ледниковые (или подледниковые). Из эндогенных – некоторые тектонические (дизъюнктивного характера) и магматические (например, опустевшие магматические камеры и лавовые пещеры). Таким образом, *субрельеф – это совокупность неровностей границы литосферы с атмо- и гидросферой, частично или полностью находящихся под твердой дневной поверхностью Земли (или иных планетных тел).*

Есть и еще один аспект употребления термина «субрельеф». Многие подземные полости, особенно антропогенные (техногенные), создаются действительно в толще уже существующей породы (штольни, тоннели щитовой проходки). Но значительное количество антропо-техногенных подземных полостей формируется путем перекрытия (погребения) выемки/котлована – тоннели метро мелкого заложения, неглубокие коллекторы коммуникаций, коллекторы подземных рек. В природе также встречаются погребенные (или аккумулятивные) полости, хотя и намного реже – онкосы и спиракулы (газовые пузыри и тоннели в застывшей лаве), полости, возникающие при подводном срастании или сплетении грибообразных шляпок колоний кораллов. Бывают и весьма своеобразные (до курьезных) случаи, когда часть коллектора, в котором течет подземная река, построена подземным способом (в толще грунта), а часть – в котловане. В итоге, исходя из вышесказанного, часть полости, являющейся единым инженерным сооружением, погребенная, а часть – подземная. Использование термина «субрельеф» в таком случае избавляет от необходимости дискутировать, поскольку формы субрельефа могут быть и погребенными, и подземными, ведь это термин морфологический (в значительной степени – морфометрический), а не морфодинамический.

К субрельефу относятся также подземные каналы, тоннели метрополитена, коллекторы коммуникаций, укрепленные горные выработки и прочие подземные инженерные сооружения с обделкой (рис. 1) – строительной конструкцией, возведенной



Рис. 1. Подземные сооружения как формы субрельефа: А – коллектор подземной реки; Б – известняковая шахта; В – строящийся тоннель метро; Г – заброшенный железнодорожный тоннель. Фотографии В.А. Неходцева

Fig. 1. Underground structures as subrelief landforms: А – big drain; Б – limestone mine; В – subway tunnel under construction; Г – abandoned railway tunnel. Photos by V.A. Nekhodtsev

вокруг горной выработки при строительстве подземного сооружения. Своими морфометрическими показателями они напоминают естественные пещеры, магматические камеры, также непосредственно являются границей литосферы и гидро- и атмосферы, а стадия дряхлости подземного сооружения предполагает образование на поверхности провалов и оседаний. Подземные инженерные сооружения полноценно участвуют в морфодинамической системе «геологическая среда – подземная полость – рельеф», равно как и естественные полости. На наш взгляд, нет никаких оснований лишать статуса субрельефа внутренние поверхности подземных инженерных сооружений, которые обладают всеми характеристиками и свойствами форм субрельефа. Аналогично, наличие асфальтовых, плиточных, бетонных покрытий в городах (подобных отделке тоннелей) не лишает эти поверхности статуса рельефа.

Единицами субрельефа, как и рельефа, являются элементы, формы и комплексы. Элементы существенно аналогичны таковым для рельефа – это элементарные поверхности, линии и точки их пересечения – соответственно двух или более поверхностей. *Форма субрельефа – это поверхность геометрически обособленного (иногда – частично обособленного) трехмерного естественного или техногенного тела в составе литосферы, расположенная полностью или частично (с выходом на поверхность) под твердой дневной поверхностью.* Положение форм субрельефа обеспечивает в них особые условия морфолитогенеза [Симонов с соавт., 1998], заметно отличающиеся от поверхностных условий, причем это различие обычно возрастает с глубиной. *Комплекс (тип) субрельефа – совокупность форм субрельефа, сходных по какому-либо признаку (морфологии – морфо-*

логический комплекс, генезису – генетический тип, возрасту – возрастной комплекс и т. д.).

Аккумулятивные формы субрельефа сложены нередко субтерральными отложениями, под которыми мы понимаем те отложения, чье происхождение (чаще подземное) и последующее развитие тесно связаны с формами субрельефа и подземными процессами. Характерной особенностью таких отложений является то, что они, в основном, образуются после формирования полости, т. е. обычно эпигенетические по отношению к ней. Эти отложения могут быть как из местного материала, так и привнесенные, в том числе – в результате деятельности человека. Поэтому они – часто полигенетические и загрязнены поступившим сверху материалом. Примерами таких отложений являются натечные формы кальцита в карстовых пещерах, техногенный аллювий коллекторных водотоков и т. д.

Субрельеф обладает рядом весьма **специфических свойств**, не присущих классическому рельефу:

1. Наличие замкнутого или полузамкнутого объема у отрицательных форм (геометрической замкнутости – полной или частичной). Безусловно, объем есть и у наземных форм рельефа, но у аккумулятивных (за редким исключением) – это объем, выполненный твердым веществом, а у денудационных в подавляющем большинстве случаев можно говорить лишь об открытом объеме (не замкнутом, в отличие от форм субрельефа). Объем подземной полости, как правило, является результатом денудационных процессов (за редким исключением), хотя внутри могут образовываться и различные вторичные аккумулятивные тела (сталактиты и т. д.).

2. В замкнутом пространстве могут возникать нетипичные для рельефа явления, как, например, напорное течение в подземных реках и пещерах.

3. Подземные полости, как правило, являются новообразованиями в геологической среде и существенно моложе вмещающих пород. Впрочем, бывают и исключения – лавовые тоннели, например, образуются при застытии лавы сверху и, частично, по контуру, что делает полость одновозрастной с вмещающими породами.

4. Субрельеф обладает специфической зональностью – по глубине, вместе с которой растут горное давление и, ниже зоны влияния атмосферы и солнечной активности, температура.

5. Амплитуды колебания температуры в подавляющем большинстве полостей в течение года минимальны, отчего роль термического выветривания крайне незначительна. Исключения составляют лишь гроты, привходовые части пещер и каменоломен, припортовые участки подземных рек и т. д.

6. В замкнутых полостях не действуют (или почти не действуют) некоторые геоморфологические поверхностные процессы – эоловые, ледниковые, береговые.

7. Биота подземных пространств крайне скудна и весьма специфична (отсутствие света, стабильные температуры, скудная трофическая база). Из-

за отсутствия сезонности подземные флора и фауна обладают рядом характерных признаков: лишены сезонной биологической цикличности; обмен веществ замедлен, и, как следствие, жизненный цикл растянут; для них часто размыты границы водной и воздушной сред обитания. К преимуществам жизни в пещерах можно отнести слабую уязвимость к природным катастрофам типа извержений вулканов, поэтому среди троглобионтов (организмов, проводящих всю жизнь в пещерах) много представителей неогеновой фауны. Для подземной фауны характерна высокая степень локальной эндемичности (обитание отдельных видов организмов на небольшом по площади ареале, или, точнее сказать, в небольшом объеме).

8. Вместо почв присутствуют почвоподобные образования: «...в пещерах, где для поддержания продуктивности сообщества организмов химическая энергия используется вместо солнечной, формируются биокосные тела или системы, обладающие почвоподобной структурой (твердофазный каркас, профиль, горизонты) и функционально выполняющие роль почв на дневной поверхности, то есть оптимизирующие среду контакта биоты и минерального субстрата в процессе производства первичной биомассы» [Семиколенных, Таргульян, 2010]. Такие почвоподобные образования на стенах пещер могут быть не только вертикальными, но и располагаться на потолке, а по мощности быть от нескольких микрометров до 4–5 сантиметров.

Границы применимости концепции. Следует обозначить и границы применения термина «субрельеф». Предлагается к такому относить твердые поверхности полостей (не заполненных грунтом пространств), выше которых располагается собственно твердая земная (дневная) поверхность. В этом случае разновидностью форм субрельефа (или переходными от рельефа к субрельефу) становятся, возможно, всякого рода карнизы, гроты, ниши и т. п., вертикально над которыми есть поверхность рельефа (рис. 2). По этой логике, пространство внутри (или под) корразионных арок, суффозионных мостов и арок-кекуров также являются субрельефом (а пространство под суффозионным мостом – остатки подземной полости – результат подземного процесса). И, конечно, очевидными и ярко выраженными формами субрельефа являются подземные ходы, пещеры, лавовые тоннели и т. п. (как имеющие, так и не имеющие выхода к поверхности). Поры между частицами грунта и валунами – некий аналог пикоформ (мельчайших неровностей) для субрельефа. Они образуются при обвалах сводов крупных полостей, при выветривании и избирательной денудации (трещины, ячеи выветривания, отдельности), при остывании магматических горных пород и т. д.

Вероятно, концепция может быть полезным инструментом в развитии современных представлений об устройстве географической оболочки – касаясь взаимодействия разных ее компонентов в пределах литосферы (особенно, учитывая интенсификацию техногенеза). Это касается как исследо-

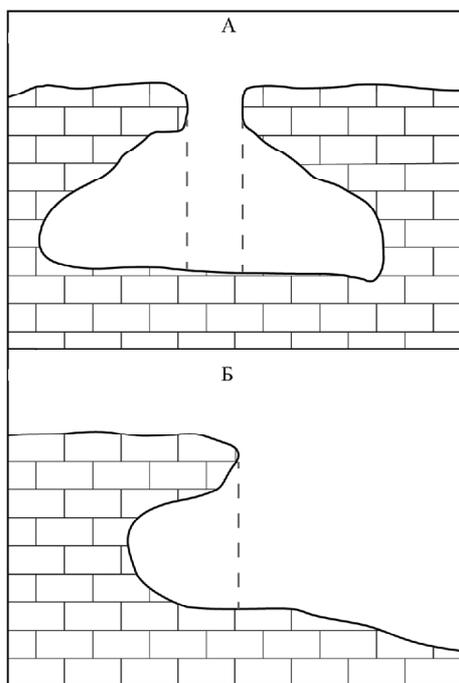


Рис. 2. Формы, переходные от рельефа к субрельефу (А – грот; Б – волноприбойная ниша)

Fig. 2. Transition forms from surface relief to subrelief (A – grotto; B – wave-cut notch)

вателей ПТК в целом (ландшафтоведов), так и «покомпонентников» – почвоведов, биогеографов, гидрологов и др. Например, в 2016 г. на Пленуме Геоморфологической комиссии РАН в Симферополе Ю.Г. Симонов, Т.Ю. Симонова и В.И. Шмыков выступили с предложением понимать под рельефом земной поверхности не физическую поверхность, а слой. Аргументировалось это, во-первых, необходимостью изучения геологического субстрата для геоморфологов (что весьма дискуссионно), во-вторых, – как раз наличием подземных форм рельефа. Думается, концепция субрельефа вполне приводит в соответствие эти понятия (рельеф, конечно, является поверхностью, а не слоем, но и под ней могут располагаться аналогичные поверхности).

Особое место субрельеф и его изучение занимают в экологии и геоэкологии: с ним связан целый ряд специфических экологических проблем [Большов, Неходцев, 2016]; подземные полости являются местообитанием специфических и реликтовых форм жизни. Еще один практический выход концепции – использование ее в рекреационном бизнесе (обустройство пещер, создание подземных экотехнических и шахтных музеев и т. п.), запросы которого, среди прочего, заключаются в обеспечении безопасности посетителей и создании информационных материалов.

Классификации форм субрельефа. Вопросы классификации подземных полостей являются слабо разработанными. В зарубежной литературе нам не встречались сколь-либо обоснованные деления всего комплекса форм субрельефа (а это не только полости, но и формы в них). Видимо, наиболее кон-

структивной попыткой является классификация полостей В.Н. Дублянского и В.Н. Андрейчука [Дублянский, Андрейчук, 1993], правда, на наш взгляд, не лишенная нарушений формальной логики и принципов классифицирования, местами излишне дробная и предлагающая в ряде случаев термины взамен устоявшихся. В этой связи предложена новая, разработанная с позиций теоретической геоморфологии, *генетическая классификация форм субрельефа* [Большов, Неходцев, 2016], в основе которой лежит основной (ведущий) процесс-агент создания этих форм (при этом в предлагаемой классификации ассимилированы некоторые идеи В.Н. Дублянского и В.Н. Андрейчука). Многие формы субрельефа (как и рельефа) являются полигенетическими, и не всегда можно однозначно сказать, какой агент является основным. Поэтому уместен синтез основных типов, и могут возникать такие термины, как, например, «карстово-суффозионный». Напомним, что формами субрельефа являются не только сами полости, но и аккумулятивные образования в них.

Классификация имеет три иерархических уровня (табл. 1):

I. Класс характеризует основной источник энергии при субрельефообразовании. Выделяется три класса субрельефа: *эндогенный* (глубинная энергия планеты); *экзогенный* (главным образом – лучистая энергия Солнца, трансформированная в географической оболочке); *смешанный* включает в себя черты как эндогенного, так и экзогенного источников энергии. Например, при пирогенезе выгорание торфа от удара молнии, выгорание пласта угля, вызванное внедрением магмы, и (огне-)взрывные работы в шахте – вызывают в итоге один и тот же эффект. Только в первом и третьем случаях источник энергии процесса – экзогенный, а во втором – эндогенный.

II. Подкласс выделяется для экзогенного класса по преобладающему агенту выноса, перемещения и (в ряде случаев) последующего осадения вещества при образовании субрельефа. Такими агентами могут быть вода – гидрогенный подкласс, движущийся воздух – аэрогенный подкласс, организмы – органогенный.

III. Генетический тип – конкретный ведущий процесс образования форм и комплексов субрельефа. Всего выделено 14 типов субрельефа, из них: 2 принадлежат эндогенному классу; 3 – смешанному; 9 – экзогенному. Выделение техногенного субрельефа в отдельный подкласс – один из наиболее дискуссионных вопросов в предлагаемой классификации (в данном вопросе нет единого мнения и у авторов статьи). С одной стороны, техногенный субрельеф (как и техногенный рельеф) – специфическая разновидность антропогенного. С другой стороны, высока степень этой самой специфичности воздействия машин и механизмов на субрельеф (как и на рельеф). Действительно, физический смысл генезиса формы рельефа – контакт некоего процесса с литосферой, в результате которого образуется эта форма рельефа. Техника, создающая формы (в объемах,

Т а б л и ц а 1

Генетическая классификация форм субрельефа

Класс	Подкласс	Генетический тип	Примеры
Эндогенный	–	<i>Вулканический</i> <i>Тектонический</i>	Лавовые пещеры, опустошенные магматические камеры Тектонические пещеры
Смешанный	–	<i>Гравитационный</i> <i>Пирогенный (псевдовулканический)</i> <i>Структурно-денудационный</i>	Гравитационные клиновидные пещеры Полости выгорания торфяников, пластов угля Тафони, ниши под отрицательным аструктурным склоном куэст
Экзогенный	Гидрогенный	<i>Флювиальный</i> <i>Береговой</i> <i>Карстовый</i> <i>Суффозионный</i> <i>Ледниковый</i> <i>Мерзлотный</i>	Ниши в основании подмываемых водотоками склонов, некоторые участки сквозных долин «Морские ворота», волноприбойные ниши, арки – кекуры Карстовые пещеры, поноры, сталактиты и т. п. Суффозионные ниши, полости и мосты Подледные тоннели, подледные озера Термоабразионные ниши, термокарстовые полости в мерзлоте, полости дегазации
	Аэрогенный	<i>Эоловый</i>	Ниши выдувания, дефляционно-корразионные арки
	Органогенный	<i>Биогенный</i> <i>Антропогенный (рукотворный)</i>	Норы, ходы Исторические сооружения, пещерные монастыри и др.
	Техногенный	<i>Техногенный</i>	Тоннели, шахты, коллекторы коммуникаций и др.

на десятки порядков превышающие в буквальном смысле рукотворные), не является воздействием собственно человека, хотя он ею управляет. Поэтому есть основания выделить техногенный подкласс, обособив его от органогенного, включающего антропогенный (буквально, рукотворный) тип. В природе есть аналогичный пример – флювиальный рельеф, который образуется текущей водой, подконтрольной (как и машины человеку) гравитации. Заметим также, что, поскольку техника так или иначе приводится в движение результирующей солнечной энергии (нефтепродуктовое топливо и электричество), подкласс техногенных форм входит в состав экзогенного класса.

Существует целый ряд других классификационных подходов. Формы субрельефа различаются и по принципу первичности или вторичности по отношению к вмещающей породе, причем количественно значительно преобладают эпигенетические полости, сформированные позже вмещающих пород. Сингенетическими являются лишь некоторые вулканические (лавовые тоннели, газовые пузыри в застывшей магме) и некоторые из экзогенных полостей (внутри сросшихся кораллов, некоторые техногенные). Сингенетическими бывают некоторые аккумулятивные формы типа сталактитов (иногда образуются параллельно с пещерой), отвалов горных пород в забоях и обвалов, образованных в шахтах при проходке, и др. Большая часть полостей являются денудационными образованиями, а многие вторичные

(по отношению к этим полостям) образования (типа сталагмитов и сталактитов) – аккумулятивными. Заметим также, что внутри искусственных полостей могут возникать вполне естественные (а также технолатогенные, т. е. спровоцированные хозяйственной деятельностью) аккумулятивные и денудационные формы субрельефа – завалы, промоины, аккумулятивные карстовые образования и т. д.

Одним из важнейших параметров подземных полостей является их глубина. Авторам не удалось найти попыток классифицирования по этому параметру. Видится уместным следующее деление, основанное на физических процессах, явлениях и параметрах (табл. 2).

Впрочем, такое разграничение по глубинам в известной мере условно. Очевидно, что в разных регионах существенно различаются климатические показатели, глубина прогревания грунтов солнцем, геотермический градиент и т. д. Есть полости вертикальные, которые могут прорезать несколько выделенных выше глубинных уровней (пещера Воронья-Крубера, опустошенное жерло вулкана). К примеру, абразионные ниши, расположенные в основании 150-метрового уступа, будут формально располагаться на глубине (под рельефом) 150 м.

Некоторые подземные полости имеют выход на поверхность, но далеко не все. Поэтому уместным видится их деление и по морфологической замкнутости на открытые (имеющие выход на поверхность) и замкнутые (не имеющие выхода на поверхность). От-

Таблица 2

Классификация подземных полостей по глубине

Тип	Глубина, м	Примечание	Примеры
Приповерхностные	0–5	Полости в верхнем, преимущественно почвенном, грунте, прогреваемом в теплое время года солнечной радиацией и наиболее активно взаимодействующем с атмосферой и гидросферой. Это создает условия для жизнедеятельности норных животных и протекания процессов активного выветривания.	Тафони, муравейник, норы грызунов, абразионные ниши, автотоннели
Неглубокие	5–20	Полости связаны с верхними геологическими слоями (но ниже почвенных грунтов и культурного слоя), где температура и обводненность в течение года близка к постоянной. Связаны с овражно-балочной и низкопорядковой эрозионной сетью, в бортах которой животные часто роют норы, а люди добывали вручную строительные материалы. Слой наиболее активного освоения инженерными коммуникациями в городах.	Каменоломни, лисьи и др. норы, травертиновые образования, коллекторы коммуникаций, метрополитен, автотоннели
Средние	20–200	Слой наиболее активного распространения крупных естественных полостей, особенно карстового генезиса. Инженерные сооружения на такой глубине, как правило, строятся уже только закрытым способом. Преобладание экзогенных полостей.	Шахты, пещеры, штольни
Глубокие	200–600	Начало проявления горных ударов с глубины 200 м, поэтому при шахтной разработке требуются мероприятия по борьбе с ними. Резко падает количество экзогенных форм.	Шахты, тектонические пещеры, подгорные тоннели
Глубочайшие	600–...	Только эндогенные естественные пустоты, активное влияние глубинного тепла. Естественные полости уже едва сохраняются в условиях высокого давления. Шахтная добыча существенно отличается: проявление пластичных свойств горных пород, температуры становятся выше температуры тела человека, внезапные выбросы пород и газов в полости.	Магматические камеры, глубокие шахты

дельно можно выделить переходные формы от рельефа к субрельефу – колодеподобные провалы, гроты, различные ниши, арки и т. п. (см. рис. 2).

Заключение

Положение подземных полостей (как объекта изучения) в системе наук весьма многогранно ввиду их широкого использования и специфичности, но, по-видимому, в первую очередь входит в область интересов геологии (говоря о веществе, в котором образованы полости) и геоморфологии (изучение морфологии, генезиса, возраста и динамики твердой поверхности подземных полостей). До последнего времени геоморфологические подходы к изучению рельефа подземных полостей в геоморфологии были слабо разработаны, исследования носили преимущественно спорадический характер. Предлагается концепция геоморфологического (в меньшей степени – географического) научного изучения подземных полостей, направленная на систематизацию представлений о них и подходов к их изучению. Для концепции также определены границы ее применимости. Основные положения концепции субрельефа (рельефа подземных полостей) заключаются в следующем:

– рельеф подземных полостей входит в понятие «объект геоморфологии», поскольку является границей раздела литосферы с атмо- и гидросферой, как и «классический» рельеф;

– подземные полости входят в морфодинамическую систему «геологическая среда – подземная полость – рельеф», обычно в стадии дряхлости проявляясь в виде деформаций земной поверхности,

т. е. участвуют в рельефообразовании и должны предметно изучаться геоморфологами;

– твердую поверхность подземных полостей предлагается называть *субрельефом*. *Субрельеф – совокупность неровностей границы литосферы с атмо- и гидросферой, частично или полностью находящихся под твердой дневной поверхностью Земли (или иных планетных тел);*

– субрельеф, как и рельеф, состоит из нескольких уровней единиц – элементов, форм, комплексов. Элементы субрельефа – его простейшие составляющие (поверхности, линии, точки). *Форма субрельефа – это поверхность геометрически обособленного (иногда – частично обособленного) трехмерного естественного или техногенного тела, расположенная полностью или частично под твердой дневной поверхностью. Комплекс (тип) субрельефа – совокупность форм субрельефа, сходных по какому-либо признаку;*

– субрельеф обладает рядом специфических свойств: объемная замкнутость (или квазизамкнутость) отрицательных форм, значительная обособленность от поверхностных процессов, глубинная зональность; подземные пустоты являются местами обитания реликтовых и уникальных представителей флоры и фауны и др.;

– существуют специфические процессы (субтерральные), формирующие и/или преобразующие формы субрельефа (подземные напорные течения и др.);

– предложена генетическая классификация форм субрельефа, в которой выделяются 3 класса

по преобладающему источнику энергии и несколько подклассов и типов по основному агенту, создавшему форму;

– предложено деление (зонирование) подземных полостей по глубине залегания. Основанием для

такого подразделения является набор физических параметров, процессов и явлений;

– существует ряд специфических экологических проблем, связанных с субрельефом и субтерральными процессами.

Благодарности. Исследование проводится в рамках научной темы кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова «Эволюция природной среды, динамика рельефа и геоморфологическая безопасность природопользования (ГЗ)».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Болысов С.И. Биогенное рельефообразование на суше. Том 2. Зональность. М.: ГЕОС, 2007. 466 с.

Болысов С.И., Неходцев В.А. Погребенный и подземный рельеф г. Москва // Теоретические проблемы современной геоморфологии. Теория и практика изучения геоморфологических систем: материалы XXXI Пленума геоморфологической комиссии РАН. Астрахань: Техноград, 2011. С. 151–156.

Болысов С.И., Неходцев В.А. Субрельеф и субтерральные процессы как фактор эколого-геоморфологической опасности в городах // Вестник РГУ имени С.А. Есенина. 2016. № 1(50). С. 87–105.

Болысов С.И., Неходцев В.А., Харченко С.В. Подземный рельеф Москвы // Вестн. Моск. ун-та. Серия 5. География. 2017. № 1(2). С. 59–73.

Веклич М.Ф. Палеогеоморфология области Украинского щита. Киев: Наукова думка, 1966. 150 с.

Галицкий В.И. О классификации рельефа Земли и некоторых вопросах терминологии // Геоморфология. 1974. № 1. С. 38–44.

Гвоздецкий Н.А. Проблемы изучения карста и практика. М.: Мысль, 1972. 392 с.

Гвоздецкий Н.А. Карст. М.: Мысль, 1981. 214 с.

Дублянский В.Н., Андрейчук В.Н. Генетическая классификация подземных полостей // Геоморфология. 1993. № 1. С. 31–37.

Кортаев В.П. Использование подземного пространства в Москве // Архитектура и строительство Москвы. 2009. № 1(543). С. 39–44.

Кортаев В.П. Москва: градостроительный потенциал подземного пространства // GRADO. Журнал о градостроительстве и архитектуре. 2011. № 2. С. 70–81.

Крубер А.А. Карстовая область Горного Крыма. М., 1915. 319 с.

Мукаби Дж.Н., Кимура Й., Котеки С., Нзиги А. Основные инженерно-геологические проблемы развития подземного пространства в г. Найроби // Международный журнал «Геотехника». 2012. № 4. С. 50–59.

Николаев Н.И. Об эволюционном развитии карстовых форм и значении структурно-тектонического фактора // Сов. геология. 1946. № 10. С. 46–57.

Семиколенных А.А., Таргульян В.О. Почвоподобные тела автохемолитотрофных экосистем пещер хребта Кугитангтау (Восточный Туркменистан) // Почвоведение. 2010. № 6. С. 658–672.

Симонов Ю.Г., Конышев В.Н., Лукашов А.А. и др. Учение о морфолитогенезе и его место в географической науке. Исторические аспекты // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 1998. № 4. С. 41–48.

Чикишев А.Г. Географические условия развития карста. М., 1975. 114 с.

Шукин И.С. Общая геоморфология. Том 2. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1964. 564 с.

Corbel J. Erosion en terrain calcaire (vitesse d'érosion et morphologie). *Annales de Géographie*, 1959, vol. 68, p. 97–120.

Coman D. Le karst – paysage biogéochimique. *Theor. and Appl. Karstol. Buc.*, 1984, p. 43–61.

Culver D.C., White W.B. Encyclopedia of Caves. Elsevier / Academic Press, 2005, 654 p.

Gunn J. Encyclopedia of Caves and Karst Science. Taylor & Francis, 2004, 902 p.

Martel E.-A. La spéléologie aux XXe siècle, Paris: Hermann, 1905, 810 p.

White W.B., Culver D.C. Encyclopedia of Caves. Second Edition. Academic Press, 2012, 963 p.

Поступила в редакцию 15.04.2019

После доработки 25.08.2019

Принята к публикации 01.11.2019

S.I. Bolysov¹, V.A. Nekhodtsev²

CONCEPT OF SUBRELIEF (RELIEF OF UNDERGROUND CAVITIES)

Investigation of «relief» of the underground cavities doesn't actually match in modern geographic science with a paradigm of studying relief as an object of geomorphology. The article suggests a scientific conception of studying underground cavities in geomorphology (and geography). The term of «subrelief» (literally «under the relief» and «almost relief») is introduced to define solid surfaces of underground cavities proceeding from the meaning of «relief» as a complex of irregularities on the solid Earth's surface which is accepted in the Russian geomorphologic science. The article also introduces specific terms, genetic classification of subrelief form and zoning of underground cavities by depth, and defines the limits of

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Paleogeography, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: sibol1954@bk.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Paleogeography, doctoral student; e-mail: baban.n@mail.ru

subrelief concept application. Some specific features of subrelief, such as closed volume, isolation from the Earth's surface processes, deep zonation etc., are also reviewed in the article. Underground cavities are the habitat of relict and unique plants and animals. Many hazardous and dangerous processes in urban areas are closely related to the subrelief.

Key words: geomorphology, caves, underground landforms, cavity, subrelief, theoretical geomorphology

Acknowledgements. The study was carried out under the research theme of the Department of Geomorphology and Paleogeography, MSU Faculty of Geography «Evolution of the natural environment, dynamics of relief and the geomorphologic safety of nature management» (State task).

REFERENCES

- Bolysov S.I.* Biogennoe rel'efoobrazovanie na sushe. Tom 2. Zonal'nost' [Biogenic relief formation on land. Vol. 2. Zonation]. Moscow, GEOS Publ., 2007, 466 p. (In Russian)
- Bolysov S.I., Nekhodtsev V.A.* Pogrebennyj i podzemnyj rel'ef g. Moskva [Buried and Underground Landforms of Moscow]. *Teoreticheskie problemy sovremennoj geomorfologii. Teorija i praktika izuchenija geomorfologicheskikh sistem: materialy XXXI Plenum geomorfologicheskoy komissii RAN* [Theoretical problems of modern geomorphology. Theory and practice of studying geomorphological systems: materials of the XXXI Plenum of the RAS geomorphological commission]. Astrahan', Tehnograd Publ., 2011, p. 151–156. (In Russian)
- Bolysov S.I., Nekhodtsev V.A.* Subrel'ef i subterral'nye processy kak faktor jekologo-geomorfologicheskoy opasnosti v gorodah [Subrelief and subterrestrial processes as factors of geomorphologic hazards in towns]. *Vestnik RGU imeni S.A. Esenina*, 2016, no. 1(50), p. 87–105. (In Russian)
- Bolysov S.I., Nekhodtsev V.A., Kharchenko S.V.* Podzemnyj rel'ef Moskvy [Underground Landforms of Moscow]. *Vestn. Mosk. un-ta*, Ser. 5, Geogr., 2017, no. 1(2), p. 59–73. (In Russian)
- Chikishev A.G.* Geograficheskie usloviya razvitiya karsta [Geographical Conditions of Karst Evolution]. Moscow, 1975, 114 p. (In Russian)
- Corbel J.* Erosion en terrain calcaire (vitesse d'erosion et morphologie). *Annales de Geographie*, 1959, vol. 68, p. 97–120.
- Coman D.* Le karst – paysage biogeochimique. *Theor. and Appl. Karsol. Buc.*, 1984, p. 43–61.
- Culver D.C., White W.B.* Encyclopedia of Caves. Elsevier/Academic Press, 2005, 654 p.
- Dublyanskij V.N., Andrejchuk V.N.* Geneticheskaya klassifikaciya podzemnyh polostej [Genetic Classification of Underground Cavities]. *Geomorfologiya*, 1993, no. 1, p. 31–37. (In Russian)
- Galickij V.I.* O klassifikacii rel'efa Zemli i nekotoryh voprosah terminologii [About classification of the Earth's landforms and some terminology problems]. *Geomorfologiya*, 1974, no. 1, p. 38–44. (In Russian)
- Gvozdetskii N.A.* Problemy izuchenija karsta i praktika [Problems and practice of karst research]. Moscow, Mysl' Publ., 1972, 392 p. (In Russian)
- Gvozdetskii N.A.* Karst [Karst]. Moscow, Mysl' Publ., 1981, 214 p. (In Russian)
- Gunn J.* Encyclopedia of Caves and Karst Science. Taylor & Francis, 2004, 902 p.
- Korotaev V.P.* Ispol'zovanie podzemnogo prostranstva v Moskve [Utilization of underground space in Moscow]. *Arhitektura i stroitel'stvo Moskvy*, 2009, no. 1(543), p. 39–44. (In Russian)
- Korotaev V.P.* Moskva: gradostroitel'nyj potencial podzemnogo prostranstva [Moscow: urban development potential of underground space]. *GRADO. Zhurnal o gradostroitel'stve i arhitekture*, 2011, no. 2, p. 70–81. (In Russian)
- Kruber A.A.* Karstovaya oblast' Gornogo Kryma [Karst Area of the Mountainous Crimea]. Moscow, 1915, 319 p. (In Russian)
- Martel E.-A.* La spéléologie aux XXe siècle. Paris, Hermann, 1905, 810 p.
- Mukabi Dzh.N., Kimura J., Koteki S., Ngigi A.* Osnovnye inzhenerno-geologicheskie problemy razvitiya podzemnogo prostranstva v g. Najrobi [The main geotechnical problems of the underground space development in Nairobi]. *Mezhdunarodnyj zhurnal «Geotekhnika»*, 2012, no. 4, p. 50–59. (In Russian)
- Nikolaev N.I.* Ob jevoljucionnom razvitiu karstovyh form i znachenii strukturno-tektonicheskogo faktora [On the evolution of karst landforms and importance of the structural-tectonic factor]. *Sov. Geologija*, 1946, no. 10, p. 46–57. (In Russian)
- Semikolennykh A.A., Targulian V.O.* Pochvopodobnye tela avtohemolitotrofnih ehkosistem peshcher hrebta Kugitangtau (Vostochnyj Turkmenistan) [Soil-Like Bodies of Autochemolithotrophic Ecosystems in the Caves of the Kugitangtau Ridge (Eastern Turkmenistan)]. *Pochvovedenie*, 2010, no. 6, p. 658–672. (In Russian)
- Shchukin I.S.* Obshchaya geomorfologiya. Tom 2 [General Geomorphology. Vol. 2]. Moscow, Moscow University Publ., 1964, 564 p. (In Russian)
- Simonov Yu.G., Konishchev V.N., Lukashov A.A. et al.* Uchenie o morfolitogeneze i ego mesto v geograficheskoy nauke. Istoricheskie aspekty [Morpholithogenesis Doctrine and its Place in Geography Science. Historical Issue]. *Vestn. Mosk. un-ta*. Ser. 5, Geogr., 1998, no. 4, p. 41–48. (In Russian)
- Veklich M.F.* Paleogeomorfologiya oblasti Ukrains'kogo shchita [Paleogeomorphology of the Ukrainian Shield Area]. Kiev: Naukova Dumka Publ., 1966, 150 p. (In Russian)
- White W.B., Culver D.C.* Encyclopedia of Caves. Second Edition. Academic Press, 2012, 963 p.

Received 15.04.2019

Revised 25.08.2019

Accepted 01.11.2019