

УДК 551.4.01:168/551.44→551.435.8

ПОДЗЕМНЫЙ МОРФОЛИТОГЕНЕЗ

© 2021 г. В. А. Неходцев^{1,*}

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

*E-mail: baban.n@mail.ru

Поступила в редакцию 25.12.2019 г.

После доработки 13.07.2020 г.

Принята к публикации 22.12.2020 г.

Предложена модель масштабно-уровневой организации генетических типов субрельефа (“рельефа” подземных полостей). Выделяются два иерархических морфодинамических уровня в эволюции субрельефа: подземный морфолитогенез (процесс образования подземной полости) и наложенный морфолитогенез — процесс образования в подземных полостях вторичных форм субрельефа, существенно не изменяющих полость. Дальнейшее деление процессов морфолитогенеза проводится параллельно по масштабам их действия и генетическим типам. Масштабы выделяются согласно размерам образующихся подземных полостей и иных форм субрельефа. В качестве меры времени (относительного) использованы стадии/циклы (по В. Дэвису). Стадии юности соответствуют зарождение и активное расширение подземной полости; на стадии зрелости в полости активно эволюционируют наложенные формы субрельефа; на стадии дряхлости полость активно разрушается, приводя к деформациям земной поверхности. Эта концепция является методологической основой научного изучения субрельефа и субтерральных процессов. Она связывает эволюцию подземных (иногда и полуподземных) полостей с “классическим” рельефом в единую природную или природно-техногенную динамическую систему.

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

DOI: 10.31857/S0435428121020097

ВВЕДЕНИЕ

Научное познание подземных полостей весьма многогранно ввиду их широкого использования и специфичности. Но, видимо, в первую очередь они входят в область интересов геологии (говоря о веществе, в котором образованы полости) и геоморфологии (изучение морфологии, генезиса, возраста и динамики их внутренней поверхности). Подземные полости в значительной степени определяют морфодинамические условия системы “геологическая среда — подземная полость — рельеф”. 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 зачастую приводит к изменениям в рельефе — вызванным подземными процессами деформациями земной поверхности (воронки, мульды проседания, карстовые колодцы, слепые овраги и т.д.). То есть можно (и нужно) говорить о геоморфологической корреляции. В некоторых случаях подземные полости могут создаваться и с поверхности — тафони и ниши выдувания (в неоднородных лити-

фицированных осадках типа песчаников и конгломератов), водобойные гроты и пещеры на побережьях и пр.

В последнее десятилетие разрабатывается концепция субрельефа (“рельефа” подземных полостей) [1, 2], систематизируются знания об опасных и неблагоприятных субтерральных (буквально — подземных) процессах [3–5]. В рамках концепции для обозначения твердой поверхности подземных полостей используется термин “субрельеф” (буквально — ПОД рельефом и ПОЧТИ рельеф), исходя из устоявшегося представления о рельефе как совокупности неровностей твердой ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ (в отличие от субрельефа). Предложены терминологический аппарат, генетическая классификация форм субрельефа, глубинное деление (зонирование) подземных полостей, даны границы применимости концепции. Также раскрыты некоторые особые свойства подземных полостей — такие, как объемная замкнутость отрицательных форм, значительная обособленность от поверхностных процессов, глубинная зональность.

О необходимости подобного переосмысления и развития геоморфологической научной мето-

логии изучения подземных полостей (особенно их морфодинамической связи с собственно рельефом) аргументированно указывали прежде многие авторы [6, 7]. Приведем еще такую цитату: “В ходе любого геоморфологического исследования, имеющего различные цели (определение строения рельефа, изучение последовательности его формирования, прогноз изменений и пр.), возникает необходимость провести операцию расчленения на составные части такого сложного объекта, каким является рельеф [в случае настоящей статьи — субрельеф]. Подобный методический прием позволяет представить природную систему в виде взаимосвязанных элементов, изучение взаимоотношений которых приводит к познанию статической структуры сложной системы...” [8, с. 18].

В настоящей статье предложена методологическая основа научного геоморфологического изучения субрельефа и субтерральных процессов различных генетических типов на разных масштабных уровнях.

ПОДЗЕМНЫЙ МОРФОЛИТОГЕНЕЗ

Синтез геологических и геоморфологических знаний привел к возникновению в середине XX века учения о морфолитогенезе, как едином, хотя и сложном, процессе одновременного образования преимущественно рыхлых отложений и экзогенных форм рельефа. Идея о триединой системе “форма — процесс — вещество”, как противовес структурной и основа климатической геоморфологии раскрыта в публикациях Ю.Г. Симонова [9, 10] и соавт. [11] и использована в огромном числе работ второй половины XX — начала XXI веков. И это неудивительно, ведь “учение о морфолитогенезе имеет свой социальный заказ” [11, с. 42].

В познании морфодинамики в подземных полостях учение о морфолитогенезе занимает, на наш взгляд, центральную позицию. Действительно, почти все полости формируются при изъятии каким-либо процессом объема горных пород (или органического вещества, например, корней) с последующим его транзитом и аккумуляцией, которая создает формы рельефа (или субрельефа). В более редких (иногда исключительных) случаях, когда полость образуется в результате аккумуляции (литификации) вещества, окружающего эту полость, мы видим вновь в образовании форм и рельефа, и субрельефа результат триединого процесса морфолитогенеза.

Вместе с тем концепция подземного морфолитогенеза имеет существенные отличия и дополнения к учению о морфолитогенезе (по Ю.Г. Симонову) [9, с. 13]. Изначально термин “морфолитогенез” не применялся к процессам эндогенного морфогенеза, хотя, очевидно, в нем и присутствует каждый из компонентов триединой системы

(веществом могут являться, например, вулканические горные породы). Вместе с тем эндогенные (например, лавовые тоннели) и некоторые формы субрельефа смешанного генезиса образуются также в рамках триединой системы “форма — процесс — вещество”. Впрочем, в своей более поздней работе Ю.Г. Симонов [10] слово “экзогенный” уже не использует; но в качестве третьей части системы морфолитогенеза (вещества) упомянуты лишь рыхлые отложения. Автору настоящей статьи сложно согласиться с признанием только рыхлого вещества в качестве составной части триединой системы морфолитогенеза. Согласно устоявшимся определениям, литогенез включает в себя и диагенез, и катагенез, как правило сопровождаемые литификацией. Этот же аспект весьма актуален и для антропогенного воздействия на рельеф — создания искусственных твердых покрытий, прошедших через ускоренное подобие процесса диагенеза (бетон, тротуарная плитка) или катагенеза (асфальтобетонное покрытие). Такие поверхности тоже признаются рельефом. Автору не известны работы, устраняющие это противоречие. На наш взгляд, единый процесс образования формы и осадка вовсе не исключает присутствие литифицированных (не рыхлых) пород, хотя такие случаи, безусловно, встречаются значительно реже (например, в районах развития карста).

На основе учения о морфолитогенезе автором статьи предлагается модель масштабно-уровневой организации процессов морфолитогенеза подземных полостей (табл. 1). В модель заложено три основания: 1) уровенность геоморфологических процессов (создание и преобразование подземных полостей); 2) генезис геоморфологических процессов; 3) масштаб действия этих процессов. Примеры форм субрельефа (как итог процессов морфолитогенеза того или иного иерархического уровня) приведены в основной части таблицы.

Вводится понятие “подземный морфолитогенез” для обозначения *единого процесса образования денудационной подземной полости в результате извлечения объема горных пород и их дальнейшего транзита и аккумуляции, либо аккумулятивной подземной полости и ограничивающих ее пород*. Здесь мы вновь в ситуации с образованием, например, лавовых тоннелей, выходим за рамки понятия “морфолитогенеза” (по Ю.Г. Симонову) как сугубо экзогенного процесса. Отметим, что “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” [2, с. 15].

В геоморфологии используют, вероятно, заимствованный из теории литогенеза (наложен-

Таблица 1. Масштабно-уровневая организация генетических типов субрельефа (с некоторыми примерами)

Генезис полости		Масштаб		
		средний	крупный	очень крупный
Подземный морфолитогенез				
Эндогенный	вулканический	Комплексы лавовых тоннелей	Лавовый тоннель	Газовые пузыри в застывших лавах
	тектонический	Полости зияющих тектонических разломов	Тектонические пещеры	Полости в зияющих трещинах бокового отпора*
Смешанный	гравитационный	—	Гравитационные клиновидные пещеры	Обвальные купола, гравитационные рвы отседания
	пирогенный	—	Полости выгорания в угленосных толщах	Мелкие полости выгорания торфа
	структурно-денудационный	—	Поверхность нависающих склонов*	Ниши под нависающими склонами*
Экзогенный	флювиальный	—	Фрагменты сквозных долин под нависающими склонами*	Гроты, ниши*
	береговой	Комплексы гротов и ниш на абразионных побережьях*	Волноприбойные гроты*	Волноприбойные ниши*
	карстовый	Пещерные системы	Отдельные пещеры	Каверны
	суффозионный	—	Суффозионные пещеры	Пайпинговые каналы
	ледниковый (в том числе водно-ледниковый)	Диллювиальные каналы подледниковых сбросов (субгляциальные спиллвеи)*	Подледные пещеры и гроты*	Ледниковые мельницы*
	мерзлотный	—	Полости дегазации при оттаивании мерзлоты	Подземные каналы спуска термокарстовых озер
	эоловый	—	Арки выдувания*	Дефляционные ниши*
	биоогенный	—	Норы	Норы, ходы
	антропогенный (рукотворный)	Городские системы водотоков XIX — нач. XX веков*	Исторические ходы, подвалы, пещерные монастыри	Погребя, землянки
	техногенный	Метро, шахты, горные тоннели, штольни	Добычные камеры в шахтах	Шпуры, мелкие скважины
Наложённый морфолитогенез (динамика в полости)				
Эндогенный	тектонический	—	Дизъюнктивные деформации полостей	Трещины раскрытия
Смешанный	гравитационный	—	Крупные обвалы	Вывалы породы из сводов подземных горных выработок
	пирогенный	—	—	Забой очистной выработки в шахте
Экзогенный	флювиальный	“Речные долины” в карстовых пещерах	Русла рек в карстовой пещере	Эвразийские котлы, побочни и т.п.
	береговой	—	—	Пляжи внутри гротов и волноприбойных ниш*
	карстовый	Вторичный карст пещер	Сталактит-сталагмитовая кора	Сталактиты, сталагмиты, сталагнаты
	суффозионный	—	—	Суффозионные шлейфы
	ледниковый	—	Лёдники в шахтах и пещерах	Ледовые сталактиты

Таблица 1. Окончание

Генезис полости		Масштаб		
		средний	крупный	очень крупный
	эоловый	—	—	Тафони
	биогенный	—	—	“Ball-holes” (биокарстовые купола)
	антропогенный	—	Завалы из грунта	Малые рукотворные отвалы
	техногенный	Накопление шита (осевшей пыли)	Дорога в шахте	Шпуры в шахтах

Примечание: * — формы субрельефа (и переходные от рельефа к субрельефу), созданные частично или полностью наземными процессами.

ный, или вторичный, литогенез; наложенный эпигенез) термин “наложенный морфолитогенез”, применяя его к процессам преобразования (но не создания) форм (в масштабе этих форм!) и подчеркивая соотношение генезиса и динамики (как, например, склонообразующие и склоновые процессы). Наложенный морфолитогенез наблюдается и в подземных полостях как *единый процесс образования вторичной формы субрельефа и слагающих ее пород, либо извлечения пород и дальнейшего их переотложения в виде новой формы субрельефа и проходящий в устойчиво существующей подземной полости*. Возможно, уместно использовать словосочетание “вложенный морфолитогенез”, так как отличительной чертой подземных полостей является замкнутый (квазизамкнутый) объем. Наложенный морфолитогенез может быть аккумулятивным (например, образование сталактитов) и денудационным (формирование русла подземной реки). Причем последний, в отличие от первого, существенно не изменяет форму и размер подземной полости на протяжении длительного времени, иначе стоит говорить уже о новом цикле подземного морфолитогенеза (например, углубление карстовой пещеры при тектоническом поднятии территории или изменении базиса эрозии). Наложенный морфолитогенез может быть иного генезиса (в том числе и сложного), чем полость, в которой наблюдается. Примером могут служить процессы карстово-суффозионного травертиногенеза на стенках антропогенно-техногенных подземных коммуникаций [12]. Очевидно, что, увеличив масштаб рассмотрения до уровня образования, например, сталактита, мы вновь перейдем от “наложенности процесса”, т.е. от динамики в пещере, к генезису конкретного сталактита. Отдельные друзы и ветви сталактита будут наложенными формами по отношению уже к самому сталактиту.

Таким образом, эволюция подземной полости представляется как двухуровневый процесс ее зарождения-формирования (генезиса) и дальней-

шего преобразования (динамики). Необходимость выделения уровней организации геоморфологических объектов была обоснована ранее [8, 13, 14]. “Необходимо знать определенные соотношения между главными характеристиками объекта. Они заключаются в строгой иерархичности геоморфологических явлений и соответствии пространства, времени и процесса для каждого иерархического уровня... Должна существовать хорошая зависимость между пространственными и временными масштабами, с одной стороны, и амплитудой, и частотой процесса — с другой. Соблюдение этого принципа размерности, или “уровенности”, возможно при введении понятия “уровень организации геоморфологических объектов” ... — единство пространственно-временных характеристик, связанных между собой мерой их изменчивости, в пределах которого (единства) количественные изменения характеристик объекта не приводят к его качественным изменениям” [8, с. 20].

Ранее исследователями отмечалось, что “уровневый подход подводит нас к необходимости использования в исследованиях балансового подхода” [8, с. 22]. Для эволюции субрельефа ключевым является баланс между двумя указанными уровнями — соотношение генезиса и динамики, которое обязательно должно определяться и масштабом изучаемых форм.

Масштабы действия процессов морфолитогенеза показаны в соответствии с результатом этих процессов — формами субрельефа различных размеров (см. примеры в таблице). Средний масштаб соответствует образованию мезоформ, размер которых обычно не превышает несколько десятков км²; крупный масштаб — микроформам с размерами до первых км²; а очень крупный масштаб — нано- и пикоформам (от мм² до первых метров). В масштабно-уровневую организацию не выносятся мелкий масштаб ввиду отсутствия конкретных подземных форм субрельефа такого размера. Крупнейшие подземные полости (например, пе-

шерная система Мамонтова — Флинт-Ридж, метрополитены мегаполисов, наиболее крупные шахтные поля) хотя и превышают по протяженности 400–600 км, но все же сконцентрированы на площадях порядка десятков (в единичных случаях — нескольких сотен) км². Мелкомасштабный уровень в нашем случае может соответствовать только ареалам распространения форм и факторам формирования генетических типов субрельефа. Заметим, что наложенные формы среднего масштаба — явление крайне редкое под землей. Одним из следующих этапов развития концепции субрельефа должно стать, по мере набора статистики, решение задачи по количественному классифицированию форм субрельефа по их размеру.

Проблема определения меры геоморфологического времени, возможно, наиболее трудно решается, на что неоднократно указывали многие ученые, например [14–16]. Предложенная выше уровенная организация (генезис — динамика) уже сама по себе предполагает наличие временной составляющей. Наиболее уместна, на наш взгляд, в качестве меры времени классическая концепция цикличности-стадийности В. Дэвиса. Эта концепция, что крайне важно в рамках теории подземного морфолитогенеза, подчеркивает важное свойство геоморфологического времени — его дискретность, или непрерывно-прерывистое течение [по 15, 16]. Рассмотрим на примере карстовой пещеры. Этап активного формирования и расширения карстовой пещеры относится к стадии ее юности; период ее наибольшего объема и широкого развития вторично-карстовых аккумулятивных форм (сталактиты, сталагмиты и др.) — к стадии зрелости; на стадии дряхлости пещера активно обваливается, на дневной поверхности образуются множественные провалы, впадины.

Это свойство геоморфологического времени выражается в цикличности. Например, объемы карстовой пещеры увеличиваются в гумидные эпохи, обвалы и образование форм вторичного карста происходит преимущественно в аридные эпохи; после чего, в новую гумидную эпоху, пещера вновь углубляется и расширяется. Так образуются многоярусные сложные пещерные комплексы. Вместе с тем все это — время относительное.

В работе использована оригинальная генетическая классификация форм субрельефа, публиковавшаяся ранее как один из содержательных элементов концепции субрельефа [1, 2, 4]. Особо отметим, что в классификации техногенный тип обособлен от антропогенного (буквально, “рукотворного”) ввиду специфичности воздействия машин и механизмов. Действительно, физический смысл генезиса формы рельефа (и субрельефа) — контакт некоего процесса с литосферой, в результате которого (контакта) образуется данная форма рельефа. Техника, создающая формы (в объемах, на десятки порядков превышающие в

буквальном смысле “рукотворные”), не является воздействием собственно человека, хотя он и управляет этой техникой. В природе есть аналогичный пример — флювиальный рельеф, который образуется текущей водой, подконтрольной (как и машины — человеку) гравитации.

Заметим также, что смешанный класс, согласно классификации, включает в себя черты как эндогенного, так и экзогенного источников энергии. Например, выгорание торфа от удара молнии, выгорание пласта угля, вызванное внедрением магмы, и (огне)взрывные работы в шахте — суть один и тот же пирогенез. Только в первом и третьем случаях источник (причина) энергии процесса — экзогенный, а во втором — эндогенный.

Выше была показана идеальная двухуровенная модель подземного морфолитогенеза для замкнутой (не имеющей выхода на поверхность) или почти замкнутой полости. Напомним, что субрельеф — это совокупность неровностей границы литосферы с атмо- и гидросферой, частично или полностью находящихся ПОД твердой дневной поверхностью Земли (или иных планетных тел). Однако, очевидно, что такие формы субрельефа (или переходные к ним), как гроты, ниши выдувания, пространства внутри арок-кекур и многие подземные сооружения образуются не подземными процессами, а частично или полностью наземными (флювиальными, береговыми, карстовыми и т.д.). К таким формам в равной степени применим описанный выше двухуровенный (но не подземный) морфолитогенетический подход. В масштабно-уровенной организации генетических типов субрельефа мы приводим примеры конкретных форм; те из них, которые созданы частично или полностью наземными процессами, отмечены “звездочкой” (*).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена модель масштабно-уровенной организации процессов морфолитогенеза в подземных полостях, согласно которой выделяются два иерархических морфодинамических уровня в эволюции субрельефа:

- подземный морфолитогенез — процесс образования денудационной или аккумулятивной подземной полости;

- наложенный (возможно, “вложенный”) морфолитогенез — процесс образования в подземных полостях вторичных денудационных и аккумулятивных форм субрельефа, существенным образом не меняющих морфометрические характеристики самой полости.

Баланс между уровнями морфолитогенеза представляет собой соотношение генезиса полости и динамики в ней. Дальнейшее расчленение процессов морфолитогенеза подземных полостей происходит параллельно по масштабам и генетическим типам.

Масштабы выделяются согласно размерам образующихся полостей и форм субрельефа. Мелкий масштаб (соответствующий, например, макроформам рельефа) мы не выделяем ввиду отсутствия форм соответствующих размеров.

В качестве меры времени (относительного) выбраны стадии/циклы (по В. Дэвису). Стадии юности соответствуют зарождение и активное расширение подземной полости; на стадии зрелости полость активно взаимодействует с геологической средой и даже с субаэральными процессами и формами, активно эволюционируют наложенные формы субрельефа; стадия дряхлости — активное разрушение полости с последующими деформациями земной поверхности. При определенных условиях полость может, не достигнув стадии дряхлости, перейти к новому циклу расширения. Цикличность и стадийность в той же степени характерны не только для полостей, но и для отдельных форм внутри них (сталактиты, сталагмиты и пр.).

Предложенная методологическая основа концепции субрельефа (“рельефа” подземных полостей) увязывает эволюцию подземных (иногда и полуподземных) полостей с классическим рельефом в единую природную или природно-техногенную систему, изучаемую так или иначе в рамках нескольких наук о Земле (в том числе и геоморфологией).

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает глубокую признательность А.В. Бредихину, профессору кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, за конструктивную дискуссию и ценные советы по теме настоящей статьи.

Исследование проводится в рамках темы госзадания № АААА-А16-11632810089-5 “Эволюция природной среды, динамика рельефа и геоморфологическая безопасность природопользования”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Болысов С.И., Неходцев В.А., Харченко С.В.* Подземный рельеф Москвы // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2017. № 2. С. 59–73.
2. *Болысов С.И., Неходцев В.А.* Концепция субрельефа — рельефа подземных полостей // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2020. № 2. С. 13–22.
3. *Неходцев В.А.* Геоэкологические опасности субрельефа городов // Спелеология и спелестология. 2016. № 7. С. 315–320.
4. *Болысов С.И., Неходцев В.А.* Субрельеф и субтерральные процессы как фактор эколого-геоморфологической опасности в городах // Вестник РГУ им. С.А. Есенина. 2016. № 1 (50). С. 87–105.
5. *Геоморфология городских территорий: конструктивные идеи* / Отв. ред. Лихачёва Э.А. М.: Медиа-ПРЕСС, 2017. 176 с.
6. *Галицкий В.И.* О классификации рельефа Земли и некоторых вопросах терминологии // Геоморфология. 1974. № 1. С. 38–44.
7. *Болысов С.И.* Биогенное рельефообразование на суше. Т. 2. Зональность. М.: ГЕОС, 2007. 466 с.
8. *Болысов С.И., Бредихин А.В.* Об уровнях организации геоморфологических объектов и критериях их выделения // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1989. № 4. С. 18–23.
9. *Симонов Ю.Г.* Региональный геоморфологический анализ. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1972. 355 с.
10. *Геоморфология* / Симонов Ю.Г. СПб.: Питер, 2005. 427 с.
11. *Симонов Ю.Г., Конищев В.Н., Лукашов А.А., Мысливец В.И., Никифоров Л.Г., Рычагов Г.И.* Учение о морфолитогенезе и его место в географической науке. Исторические аспекты // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1998. № 4. С. 41–48.
12. *Неходцев В.А.* Обзор травертиногенеза в подземных реках Москвы // Спелеология и спелестология. 2019. № 10. С. 296–303.
13. *Сочава В.Б.* Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 319 с.
14. *Торнес Дж.Б., Брунсен Д.* Геоморфология и время. М.: Недра, 1981. 227 с.
15. *Флоренсов Н.А.* Некоторые аспекты понятия возраст рельефа // Геоморфология. 1976. № 1. С. 13–22.
16. *Тимофеев Д.А.* Геоморфологическое время и пространственно-временные соотношения в рельефе земной поверхности // Изв. РАН. Сер. геогр. 1992. № 4. С. 12–18.

Underground morpholithogenesis

V. A. Nekhodtsev^{a, #}

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

[#] *E-mail: baban.n@mail.ru*

This article presents the model of scale-level organization of subrelief (“relief” of underground cavities) based on its genesis. There are 2 morphodynamic levels of subrelief evolution: underground morpholithogenesis (underground cavity formation) and imposed morpholithogenesis (formation of secondary landforms without significant changes of underground cavities). Morpholithogenesis is a process of synchronous formation of sediments and landforms or forms of subrelief. Further classification of suggests two hierarchical levels based on genesis and scale of landform formation. Scales are used according to the size of formed subrelief.

These hierarchical levels of morpholithogenesis represent the balance of cavity genesis and her internal dynamic. Stages of W. Davis's geographic cycles have been chosen as relative time units. Youthful stage corresponds to initial formation and active expansion of the underground cavity. The imposed subrelief actively evolve (for example stalactites and stalagmites in karst caves) in the cavity during mature stage. Then the cavity is being destroyed inside and eventually collapses at the old stage. This concept links the evolution of underground (sometimes semi-underground) cavities with "classical" surficial relief into a natural or natural-technogenic system and should be used as basic method to study subrelief.

Keywords: caves, cavity, morpholithogenesis, scientific theory, subrelief, underground landforms

ACKNOWLEDGMENTS

The author expresses sincere gratitude to A.V. Bredikhin, professor of department of geomorphology and paleogeography of the faculty of geography of Lomonosov Moscow State University, for constructive discussion and valuable advice on the topic of this article.

The work was carried out under the State Research Task AAAA-A16-11632810089-5 "Evolution of the environment, relief dynamics and the geomorphologic safety of nature management".

REFERENCES

1. Bolysov S.I., Nekhodtsev V.A., and Kharchenko S.V. *Podzemnyi rel'ef Moskvy* (Underground Landforms of Moscow). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2017. No. 2. P. 59–73. (in Russ.)
2. Bolysov S.I. and Nekhodtsev V.A. *Kontseptsiya subrel'efa – rel'efa podzemnykh polostei* (Concept of subrelief – relief of the underground cavities). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2020. No. 2. P. 13–22. (in Russ.)
3. Nekhodtsev V.A. *Geoekologicheskie opasnosti subrel'efa gorodov* (Geoecological hazards on urban areas). *Speleologiya i spelestologiya*. 2016. No. 7. P. 315–321. (in Russ.)
4. Bolysov S.I. and Nekhodtsev V.A. *Subrel'ef i subterral'nye protsessy kak faktor ekologo-geomorfologicheskoi opasnosti v gorodakh* (Subrelief and subterrestrial processes as factors of geomorphological hazards on urban areas). *Vestnik RGU imeni S.A. Esenina*. 2016. No. 1 (50). P. 87–105. (in Russ.)
5. *Geomorfologiya gorodskikh territorii: konstruktivnye idei* (Urban Geomorphology: Constructive Ideas). Likhacheva E.A. (Ed.). M.: Media-Press (Publ.), 2017. 176 p. (in Russ.)
6. Galitskii V.I. *O klassifikatsii rel'efa Zemli i nekotorykh voprosakh terminologii* (About Classification of Earth Landforms and Some Terminology Problems). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1974. No. 1. P. 38–44. (in Russ.)
7. Bolysov S.I. *Biogennoe rel'efoobrazovanie na sushe. T. 2. Zonal'nost'* (Biogenic Geomorphology on Continents. Vol. 2. Zonation). M.: GEOS (Publ.), 2007. 466 p. (in Russ.)
8. Bolysov S.I. and Bredikhin A.V. *Ob urovnyakh organizatsii geomorfologicheskikh ob'ektov i kriteriyakh ikh vydeleniya* (About organization levels of the geomorphological objects and criteria of their allocation). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 1989. No. 4. P. 18–23. (in Russ.)
9. Simonov Yu.G. *Regional'nyi geomorfologicheskii analiz* (Regional geomorphological analysis). M.: MSU (Publ.), 1972. 355 p. (in Russ.)
10. *Geomorfologiya* (Geomorphology). Simonov Yu.G. (Ed.). Saint-Petersburg: Piter (Publ.), 2005. 427 p. (in Russ.)
11. Simonov Yu.G., Konishchev V.N., Lukashov A.A., Myslivets V.I., Nikiforov L.G., and Rychagov G.I. *Uchenie o morfolitogeneze i ego mesto v geograficheskoi nauke. Istoricheskie aspekty* (Morpholithogenesis Doctrine and its Place in Geography Science. Historical Issue). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 1998. No. 4. P. 41–48. (in Russ.)
12. Nekhodtsev V.A. *Obzor travertinogeneza v podzemnykh rekakh Moskvy* (The Review of Speleothems Formation in Moscow Drains). *Speleologiya i spelestologiya*. 2019. No. 10. P. 296–303. (in Russ.)
13. Sochava V.B. *Vvedenie v uchenie o geosistemakh* (Introduction to the doctrine of geosystems). Novosibirsk: Nauka (Publ.), 1978. 319 p. (in Russ.)
14. Tornes Dzh.B. and Brunnsden D. *Geomorfologiya i vremya* (Geomorphology and time). M.: Nedra (Publ.), 1981. 227 p. (in Russ.)
15. Florensov N.A. *Nekotorye aspekty ponyatiya vozrast rel'efa* (Some aspects of the concept of relief age). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1976. No. 1. P. 13–22. (in Russ.)
16. Timofeev D.A. *Geomorfologicheskoe vremya i prostranstvenno-vremennye sootnosheniya v rel'efe zemnoi po-verkhnosti* (Geomorphological time and spacetime relations in the relief). *Izvestiya RAN. Ser. geogr.* 1992. No. 4. P. 12–18. (in Russ.)