

УДК 624.131

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2023-63-4-99-109

ОБЩАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Виктор Титович Трофимов^{1✉}, Владимир Александрович Королев²

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; trofimov@rector.msu.ru ✉

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; va-korolev@bk.ru

Аннотация. Рассмотрены вопросы построения общей классификации геологических процессов, являющихся предметом исследования современной инженерной геодинамики — одного из направлений инженерной геологии. Предложена новая общая классификация геологических процессов для целей инженерной геологии, исключающая недостатки предыдущих аналогичных классификаций и охватывающая всё многообразие как природных геологических процессов, так и их техногенных аналогов — инженерно-геологических процессов.

Ключевые слова: геологический процесс, инженерно-геологический процесс, классификация процессов, инженерная геология, инженерная геодинамика

Для цитирования: Трофимов В.Т., Королев В.А. Общая классификация геологических процессов для целей инженерной геологии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2023. № 4. С. 99–109.

GENERAL CLASSIFICATION OF GEOLOGICAL PROCESSES FOR THE PURPOSES OF ENGINEERING GEOLOGY

Viktor T. Trofimov^{1✉}, Vladimir A. Korolev²

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; trofimov@rector.msu.ru ✉

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; va-korolev@bk.ru

Abstract. The issues of constructing a general classification of geological processes that are the subject of research in modern engineering geodynamics, one of the areas of engineering geology, are considered. A general classification of geological processes for the purposes of engineering geology is proposed, taking into account the shortcomings of previous similar classifications and covering the whole variety of both natural geological processes and their technogenic analogues — engineering geological processes.

Keywords: geological process, engineering-geological process, classification of processes, engineering geology, engineering geodynamics

For citation: Trofimov V.T., Korolev V.A. General classification of geological processes for the purposes of engineering geology. *Moscow University Geol. Bull.* 2023; 4: 99–109. (In Russ.).

Введение. В инженерной геодинамике, как и в других научных направлениях инженерной геологии, используются классификации разных типов и содержания: общие, региональные, частные и специальные. В *общей* классификации геологических процессов для инженерно-геологических целей систематизируется на основе определенных классификационных признаков полное множество изучаемых процессов (таких классификаций немного, они имеют методологическое значение и содержание, именно их мы будем рассматривать далее). В *региональной* классификации систематизируются данные о современных геологических процессах, распространенных в пределах определенной территории, характеризующейся определенными геологическими и климато-гидрологическими факторами. В *частных* классификациях рассматривается только один геологический процесс (например, карстовый, оползневой, эрозионный и др.). Их предложено

много, только для оползневого процесса — несколько десятков. *Специальные* классификации предусматривают оценку процессов применительно к конкретным сооружениям или использованию территории; они, как правило, предназначены для обоснования поставленных проектно-строительных задач.

История создания общих классификаций геологических процессов в инженерно-геологических целях. Одними из первых опубликовали классификации Ф.П. Саваренский [1937], Н.И. Николаев [1947, 1948] и И.В. Попов [1951, 1959]. Они долгое время оставались наиболее известными в инженерной геодинамике. Позже В.Д. Ломтадзе [1977] и А.И. Шеко [1976] «осовременили» классификацию Ф.П. Саваренского. Принципиально новые по содержанию и структуре общие классификации процессов были опубликованы Е.М. Сергеевым [1978], Г.К. Бондариком [1981] и Г.С. Золотаревым [1983].

Исторически в ходе развития инженерной геодинамики инженер-геологи *использовали разные подходы к созданию общих классификаций геологических процессов*. На первом этапе создавались достаточно простые построения в виде небольших таблиц с двумя вертикальными полосами, в которых определялись действующие силы, под влиянием которых развиваются те или иные геологические процессы, создающие определенные явления (например, классификации Ф.П. Саваренского и И.В. Попова). Они, в какой-то степени модернизированные, использовались долгое время в инженерной геодинамике (работы В.Д. Ломтадзе, А.И. Шеко).

В начале последней четверти двадцатого века подход к их созданию изменился. В классификации стали показываться не только названные ранее показатели, но и комплексы пород массивов, в которых развиваются процессы и создаваемые ими явления [Сергеев, 1978], а также количественные показатели, характеризующие эти явления [Золотарев, 1983] и многие другие данные [Бондарик, 1981, 2015]. При этом объем таких классификаций резко вырос: до 2,5 и 18 страниц (в книжном издании).

Классификация процессов Ф.П. Саваренского, оформленная в виде таблицы в учебниках Н.В. Коломенского [1956] и Е.М. Сергеева [1978], была опубликована в первом издании учебника «Инженерная геология» в 1937 г. (в оригинале она оформлена в виде двух вертикальных колонок без «разлиновки и шапки») [Саваренский, 1937]. Она была создана на базе классификации экзогенных геологических процессов академика А.П. Павлова, профессора Московского университета, создателя одной из крупнейших научных геологических школ России. В этой классификации были учтены не все геологические процессы, и кроме того, в ней использовано слово «явление» в соответствии с терминологией того времени. Но она была первой, в ней уже были учтены не только природные процессы и явления, но и связанные с деятельностью человека. В учебнике 1939 г. эту классификацию Ф.П. Саваренский повторил.

Классификации процессов Н.И. Николаева были опубликованы в 1947 и в 1948 гг., и они охватывали физико-геологические процессы и явления, имеющие инженерное значение [Николаев, 1947, 1948]. Эти классификации были построены им по генетическому принципу и охватывали не только экзогенные, но и эндогенные геологические процессы и были большим шагом вперед по сравнению с неполными прежними классификациями Ф.П. Саваренского. Кроме того, Н.И. Николаев впервые выделил и так называемые «эндолитогенные процессы», к которым он относил процессы, связанные с внутренними изменениями физико-химического и физического состояния грунтов: плывуномостью, засолением и рассолением, просадкой, осадкой и уплотнением, набуханием и усадкой грунтов и др. Придавая этим классификациям инженерно-геологический смысл,

он связывал классифицируемые процессы с теми или иными инженерно-хозяйственными объектами, при строительстве которых данные процессы имеют наибольшее значение, что также явилось прогрессивным шагом в создании классификаций инженерно-геологической направленности.

Классификация явлений, вызванных инженерно-хозяйственной деятельностью В.А. Приклонского была опубликована в 1951 г., в ней выделяется три вертикальных зоны влияния инженерного сооружения с характерным набором явлений и инженерно-геологических процессов.

Классификация процессов И.В. Попова. И.В. Попов, приняв идею построения классификации Ф.П. Саваренского, несколько изменил ее структуру, предложив в 1951 г. новую классификацию, переизданную в 1959 г. [Попов, 1951, 1959]. Он писал: «Если классифицировать природные геологические явления по признаку главных действующих сил при их возникновении и течении, то эту классификацию кратко можно представить в следующем:

I. Явления, связанные с действием факторов выветривания.

II. Явления, связанные с действием силы ветра (абразия, эоловые процессы).

III. Явления, связанные с действием веса текучих вод (смыв, эрозия).

IV. Явления, связанные с действием веса текучей воды и взвешенных и влекомых ею составляющих твердого стока (сели).

V. Явления, связанные с действием веса пород (обвалы, осыпи, оползни).

VI. Явления, связанные с действием силы гидродинамического давления и веса подземных потоков вод (суффозия).

VII. Явления, связанные с силами, развивающимися при замерзании и оттаивании подземных вод (мерзлотные деформации, наледи, пучины).

VIII. Явления, связанные с эндогенными силами (сейсмика, тектонические дислокации пород)» [Попов, 1959, с. 49].

В ряду классификаций этого типа особняком стоит разработка И.В. Попова [1959], в которой, с одной стороны, был систематизирован ряд природных геологических процессов, а с другой — дано их сопоставление с инженерно-геологическими. В этой классификации-перечислении впервые был дан ответ на очень важный вопрос: какому природному экзогенному геологическому процессу соответствует аналогичный процесс, вызванный деятельностью человека?

Классификация процессов П.Н. Панюкова была опубликована в 1962 г. и составлена в развитие его более ранней классификации (1952). В ней помимо выделения групп и подгрупп процессов ранжированы процессы денудационные и аккумулятивные [Панюков, 1962]: первые ведут к разрушению пород, а вторые — к формированию новых отложений. Эта классификация была им усовершенствована и опу-

бликована в 1978 г. В ней было выделено больше генетических типов процессов, чем в предыдущей.

Классификация процессов Ф.В. Котлова. В 1967 г. Ф.В. Котловым была опубликована общая, генетическая в своей основе, классификация инженерно-геологических процессов и явлений с выделением трех таксонов: класс, тип и вид. Классы объединяют совокупности генетических комплексов инженерно-геологических процессов и явлений, отражающие главные направления антропогенных изменений литосферы, подземной и поверхностной гидросферы. Типы объединяют процессы и явления, выделенные в генетические комплексы по характеру изменения грунтов, подземных и поверхностных вод. Виды представляют сами процессы и явления. В классификации указаны антропогенные факторы, формирующие процессы и явления [Котлов и др., 1967].

Им было выделено шесть следующих классов инженерно-геологических процессов и явлений:

- 1) антропогенный литогенез (образование субаэральных, субаквальных и субтерральных антропогенных отложений);
- 2) процессы и явления, вызванные изменением состава грунтов;
- 3) процессы и явления, вызванные изменением термического режима грунтов;
- 4) процессы и явления, вызванные изменением режима подземной гидросферы, обводненности и влажности грунтов;
- 5) процессы и явления, вызванные изменением напряженного состояния массива грунтов;
- 6) процессы и явления, вызванные изменением поверхностной гидросферы.

Согласно Ф.В. Котлову [1970] современные геологические процессы и явления по степени влияния на них инженерно-хозяйственной деятельности человека разделяются на три категории. «1. Процессы и явления, не испытывающие влияния деятельности человека. К ним относятся эндогенные геологические процессы и явления (вулканизм, землетрясения, эпейрогенические движения, глубинный метаморфизм и др.), часть эндолитогенных (диффузионное, фильтрационное выщелачивание, осмотическое сжатие, набухание, просадки и др.) и экзогенные геологические процессы и явления, действующие вне техносферы. 2. Процессы и явления, количественно и качественно измененные деятельностью человека. В эту категорию входят многие природные экзогенные и эндолитогенные процессы и явления, в той или иной степени трансформированные (усиленные или ослабленные) в результате деятельности человека (выветривание, осадкообразование, эрозия, абразия, оползни, сели, карст, заболачивание, пучение, суффозия и др.). 3. Процессы и явления, полностью вызванные деятельностью человека. Решающая роль в их формировании принадлежит инженерно-хозяйственной деятельности человека.

Разделение геологических процессов и явлений на эти три категории вызвано тем, что они различа-

ются по условиям формирования, развития и проявления. Существует сложная система взаимосвязей между тремя категориями процессов и явлений, раскрытие которых и представляет задачу инженерной геодинамики» [Котлов, 1970].

Наиболее полная классификация антропогенных геологических процессов и явлений была опубликована Ф.В. Котловым в 1978 г. и включала в себя группы, классы и виды процессов [Котлов, 1978]. Среди наиболее крупных таксонов — групп им были выделены процессы: 1) литогенетические (антропогенный литогенез); 2) геотермические; 3) гидролитогенные, вызванные изменением подземной гидросферы; 4) вызванные изменением напряженного состояния массивов грунтов; 5) вызванные изменением поверхностной гидросферы. Среди этих пяти групп выделялось семнадцать классов антропогенных геологических процессов. В целом классификации антропогенных процессов Ф.В. Котлова показали, что практически все экзогенные геологические процессы имеют свои антропогенные аналоги.

Классификация процессов Л.Д. Белого и И.В. Попова. Эта классификация была опубликована в 1975 г. и была составлена для целей инженерной геологии. В классификации четко разделялись процессы и явления. Она была построена по генетическому принципу и в ней учитывались как природные геологические процессы, так и антропогенные — инженерно-геологические [Белый, Попов, 1975]. В 1985 г. Л.Д. Белый опубликовал новый вариант классификации с выделением групп процессов: физико-химических, биохимических, гравитационных, гидродинамических, аэродинамических и теплофизических. Однако четкое их разграничение было не во всех случаях корректно.

Классификация процессов В.Д. Ломтадзе. В.Д. Ломтадзе доработал построения Ф.П. Саваренского, основанные на учете ведущих факторов, дополнив и приведя их в соответствие с развитой в третьей четверти двадцатого века терминологической базой инженерной геодинамики [Ломтадзе, 1977]. Структурно эта классификация повторяла построение Ф.П. Саваренского, но несколько расширяла список явлений, обусловленных геологическими процессами. В то же время ряд явлений в этой классификации был выделен не корректно.

Классификация процессов А.И. Шеко — одна из первых была разработана в 1976 г. с учетом оценки интенсивности и активности развития процессов [Шеко, 1976]. В 1978 и 1980 г. им была опубликована общая генетическая классификация экзогенных геологических процессов (ЭГП) с выделением классов, подклассов и типов экзогенных геологических процессов, которая позже им была дополнена и переработана с выделением новых таксонов [Шеко, Круподеров, 1994; Опасные..., 1999]. В ней были указаны (за исключением последнего VII-го класса) только природные геологические процессы, однако всем

им соответствуют и техногенные аналоги — инженерно-геологические процессы того же класса, типа или вида, которые в классификации, тем не менее, не указывались.

Эта классификация была более полная, широко используется, но в ней отсутствуют процессы, связанные с деятельностью человека (что должно быть в общей классификации). Кроме того, в столбце «типы» следовало бы строже подходить к названию процесса: обвальный, абразионный, эрозионный, селевой, карстовый, суффозионный, просадочный, пучинный, термопросадочный и т.п.

На основе классификации А.И. Шеко в 1999 г. большой группой авторов была предложена несколько расширенная классификация экзогенных геологических процессов [Опасные..., 1999].

Классификация процессов Е.М. Сергеева была опубликованная в 1978 г. в учебнике «Инженерная геология» [Сергеев, 1978]. В ней не только систематизировались эндогенные и экзогенные процессы, происходящие под влиянием природных и антропогенных воздействий (горизонтальная ось таблицы), но и типы горных массивов по составу пород, их прочности и величине крутизны (угла) слагаемого ими природного склона (вертикальная ось таблицы), что было принципиально новым. В клетках этой таблицы, образующихся при пересечении линий-границ «выделов» горизонтальной и вертикальных осей этой двурядной классификации, охарактеризовано развитие конкретных процессов.

Классификация процессов Г.С. Золотарева — наиболее подробная общая классификация геологических и инженерно-геологических процессов, которая была им разработана в 1979 г. и приведена в его учебнике [Золотарев, 1983]. Как и предыдущие классификации она была построена по генетическому принципу, в ней выделяются группы действующих факторов, определяющих соответствующие типы геологических или инженерно-геологических процессов. Кроме того, в классификации были впервые учтены различные количественные показатели процессов, использующиеся при инженерно-геологических исследованиях.

Параметризация геологических процессов — важнейший элемент их анализа, необходимый при инженерно-геологических исследованиях. Количественная оценка процессов для целей инженерной геологии имеет большое значение, поскольку она позволяет строить геодинамические карты территорий по этим показателям, проводить объективный сравнительный анализ процессов, выявлять наиболее значимые и опасные процессы, проектировать системы инженерной защиты территорий и т.п. Поэтому введение в классификацию количественных показателей процессов делает ее более полезной и удобной для практического использования инженер-геологами. Вопросы параметризации экзогенных геологических процессов не раз обсуждались

в литературе [Толстых, Клюквин, 1984; Опасные..., 1999].

Классификация процессов Г.К. Бондарика. В 1981 г. Г.К. Бондарик разработал общую классификацию экзогенных геологических процессов [Бондарик, 1981]. В ней в качестве признаков деления им были использованы следующие характеристики: первичные и вторичные экзогенные геологические процессы; внешняя сфера, при взаимодействии литосистемы с которой реализуется ЭГП; приуроченность ЭГП к контактам литосферы с внешними сферами; характер взаимодействия по отношению к литосистеме (динамическое, функциональное), пространству (распределенное, сосредоточенное), времени (импульсное, квазипериодическое, непрерывное).

Каждый из этих признаков оснований делился на серию «подпризнаков» (поднаборы, по Г.К. Бондарика), число которых изменялось от 2 до 19 (всего поднаборов — 40). В итоге получилось чрезвычайно объемное произведение. В учебной литературе оно было опубликовано в учебнике «Инженерная геодинамика» [Бондарик, Пендин, Ярг, 2015], в котором его объем в табличном формате составляет 18 страниц.

Общая классификация экзогенных геологических процессов Г.К. Бондарика — новый подход к составлению таких разработок. Это важное научное произведение и оно, и его фрагменты, и сам подход должны использоваться при выполнении научных исследований. Но классификация сложна и чрезвычайно объемна, и это ограничивает ее использование в системах инженерно-геологических изысканий и подготовки специалистов в вузах.

В последние два десятилетия были разработаны новые классификации геологических процессов с учетом актуальных аспектов и появляющихся запросов инженерной геологии, экологической геологии и геоэкологии. Это классификации Н.С. Красиловой [1999], Л.С. Гарагуля [Природные..., 2000], В.Л. Познанина [2003], С.В. Квашука [2004], А.Н. Галкина и А.И. Павловского [2017] и других исследователей.

Систематизация экзогенных геологических процессов в криолитозоне была разработана Л.С. Гарагуля и др. [Природные..., 2000].

Вопросы систематизации геологических процессов в инженерно-геологических целях, а также связанная с этим терминология и определение понятий обсуждались в ряде работ [Опасные..., 1999; Королев, Галкин, 2011].

Кроме того, систематика опасных геологических процессов приведена в действующей системе изысканий — «Свод правил 115.13330.2016 Геофизика опасных природных воздействий» [СП 115.13330.2016, 2018].

Детальный анализ инженерно-геологических классификаций геологических процессов был приве-

ден во 2-м томе монографии «Инженерная геология России» [2013].

В 2017 г. А.Н. Галкиным была опубликована общая инженерно-геологическая классификация современных геологических процессов и явлений территории Белоруссии, в которой выделены группы, подгруппы, классы, типы и виды процессов, причем на уровне типов все они подразделялись на природные и природно-техногенные [Галкин, Павловский, 2017].

Таким образом, к настоящему времени разработано множество общих классификаций процессов для целей инженерной геологии. Однако практически все они, наряду с положительным методологическим значением, имеют те или иные недостатки, не раз отмеченные в литературе по инженерной геодинамике.

Основные недостатки классификаций. Практически все разработанные к настоящему времени классификации геологических процессов в инженерно-геологических целях не были лишены тех или иных недостатков. Их анализ приводился в ряде работ [Опасные..., 1999; Инженерная..., 2013]. Основными из них являются следующие.

1. *Неполнота рассматриваемых геологических процессов.* В ряде классификаций рассматривались лишь экзогенные процессы, а эндогенные — не включались в систематику [Саваренский, 1937; Бондарик, 1981; Шеко, 1976]. В множестве экзогенных геологических процессов учитывались не все процессы, и кроме того, в них нечетко выдерживался генетический подход и выделение ведущих факторов. Наряду с этим часто использовался «не на месте» термин «явление» в соответствии с устаревшей терминологией того времени [Саваренский, 1937; Попов, 1951; Ломтадзе, 1977; Белый, Попов, 1975; Белый, 1985; Золотарев, 1983].

2. *Преувеличение роли одних ведущих факторов и занижение роли других.* [Панюков, 1962; Опасные..., 1999].

3. *Нестрогий учет иерархических уровней* выделяемых процессов [Белый, 1985; Золотарев, 1983]. Из-за этого выделяемые в классификациях таксоны часто несопоставимы. Анализ иерархических уровней геологических процессов посвящены работы В.Л. Познанина [2003].

4. *Отсутствие взаимосвязи развития геологических процессов с техногенными воздействиями.* Во многих классификациях рассматривались лишь природные процессы и факторы их формирования [Саваренский, 1937; Панюков, 1962; Шеко, 1976, 1994]. При этом лишь в некоторых из них выделялись их техногенные аналоги — инженерно-геологические процессы.

5. *Отсутствие взаимосвязи процессов с массивами горных пород,* в которых они развиваются. Лишь в классификации Е.М. Сергеева [1978] указывается на такую взаимосвязь.

6. *Отсутствие количественных показателей* (параметризации) геологических процессов. Этот недостаток присутствует в большинстве классификаций, за исключением классификации Г.С. Золотарева [1983], что делает затруднительным их использование для целей инженерной геологии.

7. *Громоздкость и перегруженность классификаций.* Стремление к полноте представляемой информации сделало некоторые классификации чрезвычайно громоздкими, что затрудняет их практическое использование [Бондарик, 1981].

Принципы построения общей классификации. Приведенный выше краткий анализ существующих к настоящему времени классификаций геологических процессов для целей инженерной геологии и их недостатков позволяет обосновать принципы построения новой общей классификации. К ним относятся следующие позиции:

1. Классификация должна строиться по генетическому принципу с выделением ведущих факторов формирования процессов.

2. Она должна охватывать все многообразие как эндогенных, так и экзогенных геологических процессов.

3. В ней должны выделяться антропогенные (техногенные) аналоги геологических процессов — инженерно геологические процессы.

4. Для всех процессов должна учитываться иерархия их проявления в геологической среде, отражаемая в выделяемых таксонах — классах, типах, видах процессов.

5. Для каждого процесса необходимо указать его приуроченность к определенному литолого-петрографическому типу массива.

6. Каждый процесс в классификации должен сопровождаться параметризацией — основными количественными показателями, используемыми в инженерно-геологических целях.

Основываясь на этих позициях, авторы настоящей статьи разработали общую инженерно-геологическую классификацию процессов и представили ее в таблице.

В этой классификации, как и в большинстве предшествующих, учитывается генетический принцип построения — выделяются десять ведущих природных факторов формирования геологических процессов (первый столбец таблицы). Затем выделяются классы, типы и виды природных геологических процессов, сначала эндогенных, а затем экзогенных (2–4-й столбцы таблицы). Для каждого вида из этих процессов далее указывается его техногенный аналог — соответствующий инженерно-геологический процесс (5-й столбец таблицы).

Далее в 6-м столбце указывается преобладающий тип массива горных пород, в пределах которого преимущественно формируется данный процесс, т. е. отмечается его приуроченность к определенным горным породам.

Общая инженерно-геологическая классификация процессов

Действующие природные факторы — причины развития процесса	Природные процессы			Техногенные аналогии процессов (инженерно-геологические процессы)	Массив горных пород, подверженный процессу	Количественные показатели процесса*
	Класс	Тип	Вид			
А. Эндеогенные геологические процессы:						
I. Тектонические напряжения континентальной коры	Сейсмические	Землетрясения	Близофокусные Глубокофокусные	Наведенная и возбужденная сейсмичность	Любой	Магнитуда Класс землетрясения (балл) Повторяемость (ед./год)
	Современные тектонические движения	Тектонические движения: платформенных структур горноскладчатых структур	Тектонические: поднятия опускания коллизии	Техногенные провалы, сдвигения, поднятия или опускания поверхности при откачках и добыче полезных ископаемых, горно-динамические процессы	Любой	Перемещения (мм/ год) Коэффициент пораженности (%)
	II. Вулканизм	Извержение лав, газов	Вулканизм: эффузивный, эксплозивный, экструзивный	Подводный Наземный	Отсутствуют	Скальный, полу- скальный
Извержение пепла, газов		Пеплопады	Наземный	Скальный, полу- скальный		
Извержение газов		Фумаролы		Скальный, полу- скальный		
Извержение вод		Гейзеры		Скальный, полу- скальный		
Извержение грязей		Грязевой вулкана- низм		Любой		
III. Смещения океанической коры по разломам при сбросе накопленных напряжений	Движение водных волн	Цунами	Сильные Средние Слабые	Спровоцированные подводными ядерными взрывами	Любой	Коэффициент пораженности территории (%) Скорость распространения (м/с или км/час) Повторяемость (ед./год)
IV. Повышенные температура и давление	Метаморфизация пород	Региональный Контактный Динамический метаморфизм	Низкой степени Средней степени Высокой степени	Техногенно-активизированный метаморфизм: термический термобарический флюидный	Любой	Коэффициент пораженности территории (%)
Б. Экзогенные геологические процессы:						
V. Климатические, метеорологические и биологические	Выветривание	Площадное Линейное	Физическое Химическое Биологическое	Техногенно-активизированное выветривание	Любой	Скорость выветривания (м/год), коэффициент выветривости и др.

Действующие природные факторы — причины развития процесса	Природные процессы			Техногенные аналоги процессов (инженерно-геологические процессы)	Массив горных пород, подверженный процессу	Количественные показатели процесса*
	Класс	Тип	Вид			
VI. Энергия рельефа и сила тяжести	Сдвигение масс без потери контакта с массивом или с незначительной потерей его	Оползневой	Сплывы	Техногенно-активизированные оползни, оползни карьеров и отвалов	Преимущественно дисперсный и полускальный	Коэффициенты: устойчивости (д. ед.) пораженности территории (%) Объем (тыс. м ³) Глубина захвата пород (м)
			Оползни-блоки: а) скользящие консеквентные инсеквентные б) выдавливания			
		Лавинный	Оползни-потоки (течения)	Техногенно-активизированные лавины	Скальный Снежный	Коэффициент пораженности территории (%)
			Оползни-обвалы			
VII. Поверхностные воды	Сдвигение масс с потерей контакта со склоном	Ледниковый	Горные (долинные)	Техногенно-активизированные ледники	Ледяной	Коэффициент пораженности территории (%)
			Материальные (покровные)			
		Обвальный	Обвалы (собственно)	Техногенно-активизированные обвалы	Скальный и полускальный	Коэффициент пораженности территории (%)
			Вывалы Камнепады			
	Разрушительное воздействие водных масс океанов, морей и озер	Осыпной	Лотковые	Техногенно-активизированные осыпи	Скальный и полускальный	Коэффициенты: устойчивости (д. ед.) пораженности территории (%)
			Площадные			
		Абразионный	Океанов и приливных морей	Переработка берегов водохранилищ	Любой	Скорость отступления берега (м/год) Удельный абразионный смыл (м ³ /год)
		Термоабразионный	Бесприливных морей			
		Вдольбереговое	Озер	Заиление водохранилищ	Любой	Коэффициент пораженности территории (%)
		перемещение и аккумуляция наносов				
		Заиление	Внутренних морей и озер			

Действующие природные факторы — причины развития процесса	Природные процессы			Техногенные аналоги процессов (инженерно-геологические процессы)	Массив горных пород, подверженный процессу	Количественные показатели процесса*
	Класс	Тип	Вид			
VII. Поверхностные воды	Разрушение массивов под влиянием масс воды временных водотоков	Эрозионный	Склоновая	Техногенно-активизированная склоновая и овражная эрозия	Дисперсный	Коэффициент пораженности территории (%) Скорость развития (м ³ /га в год)
			Овражная			Коэффициент пораженности территории (%) Плотность (шт/км ²) Скорость линейного роста (м/год)
	Разрушение массивов под влиянием масс воды постоянных водотоков	Селевой	Глициальные Дождевые Таяния снега Прорыва плотин Вулканогенные (лахары)	Техногенно-активизированные сели	Дисперсный	Коэффициент пораженности территории (%) Повторяемость (ед./год) Объем (млн м ³) Скорость (м/с)
			Речная: береговая донная			Коэффициент пораженности территории (%) Скорость размыва берега (м/год)
VIII. Подземные воды и поверхностные воды	Разрушение массивов под влиянием масс воды постоянных водотоков	Эрозионный речной	Речная: береговая донная	Техногенно-активизированная речная эрозия	Любой	Коэффициент пораженности территории (%) Скорость размыва берега (м/год)
		Термоэрозионный	Мерзло-эрозионная Предельно-термоэрозионная Термоэрозионная Эрозионная	Техногенно-активизированная термоэрозия	Дисперсный	
		Затопление	Долговременное Кратковременное	Техногенно-активизированное затопление	Любой	Коэффициент пораженности территории (%) Повторяемость (ед./год)
	Разрушение и выщелачивание	Карстовый	Карбонатный Сульфатный Соляной	Техногенно-активизированный карст	Карбонатные Сульфатные Соляные	Коэффициент пораженности территории (%) Число провалов (шт/км ² в год) Диаметр провалов (м)
			Суффозия Подземная эрозия	Техногенно-активизированная суффозия	Дисперсные	Коэффициент пораженности территории (%)
			Оседание поверхности	Техногенно-активизированное оседание поверхности при откачках	Полускальные Дисперсные	Коэффициент пораженности территории (%) Относительная осадка (%)

Действующие природные факторы — причины развития процесса	Природные процессы			Техногенные аналоги процессов (инженерно-геологические процессы)	Массив горных пород, подверженный процессу	Количественные показатели процесса*
	Класс	Тип	Вид			
VIII. Подземные воды и поверхностные воды	Подъем уровня грунтовых вод	Подтопление	Временное Постоянное	Техногенно-активизированное подтопление	Любые	Коэффициент пораженности территории (%)
		Засоление	Сульфатное Хлоридное Карбонатное и др.	Техногенное засоление	Дисперсные	Засоленность (%)
		Заболачивание	Верховые болота Переходные болота Низинные болота	Техногенное заболачивание	Дисперсные	Коэффициент пораженности территории (%)
	Ослабление и разрушение структурных связей грунтов	Проседание лёссов и лёссовидных пород	Мало опасное Умеренно опасное Опасное	Техногенно-активизированная просадка	Пылеватые (лёссовые)	Коэффициент относительной просадочности (д.ед.) Начальное просадочное давление (МПа) Мощность просадочной толщи (м) и др.
			Истинные плывуны Псевдоплывуны	Техногенные плывуны	Дисперсные	Коэффициент пораженности территории (%)
IX. Ветер и движение воздушных масс	Изменение порового давления	Набухание	Сильное Среднее Слабое	Техногенное набухание или усадка	Глинистые	Давление набухания (МПа) Относительная деформация набухания или усадки (д.ед.)
		Усадка	Сильная Средняя Слабая			
	Эоловая денудация	Дефляция	Выдувание	Техногенно-активизированная дефляция	Дисперсные Любые	Коэффициент пораженности территории (%)
		Коррозия	Обтачивание	Техногенно-активизированная коррозия	Любые	Коэффициент пораженности территории (%)
	Эоловый перенос	Развевание	Песчаные и пыльные бури Снеговые бури, метели	Техногенная активизация эолового переноса	Дисперсные Снежные	Скорость переноса частиц (м/с или км/час) или снега
	Эоловая аккумуляция	Аккумуляция	Дюнообразование Барханообразование Сутробообразование	Техногенно-активизированная аккумуляция	Дисперсные Снежные	Коэффициент пораженности территории (%) Скорость перемещения (м/год)

Действующие природные факторы — причины развития процесса	Природные процессы			Техногенные аналогии процессов (инженерно-геологические процессы)	Массив горных пород, подверженный процессу	Количественные показатели процесса*
	Класс	Тип	Вид			
Х. Промерзание и оттаивание горных пород	Промерзание (криогенные)	Пучение	Сезонное Многолетнее	Техогенно-активизированное пучение	Дисперсные	Коэффициент пораженности территории (%) Интенсивность пучения (%)
		Морозобойное растрескивание	Полигональное рельефообразование Формирование пятен-медальонов	Техогенно-активизированное морозобойное растрескивание	Дисперсные	Коэффициент пораженности территории (%)
		Наледообразование		Техогенное наледообразование	Любые	Коэффициент пораженности территории (%)
		Образование крилопзгов	Надмерзлотные Межмерзлотные Подмерзлотные	Искусственные криопэги	Любые	Объем (м3)
	Колебания температуры с переходом через 0 °С	Курумообразование	Каменные реки Каменные моря	Отсутствуют	Скальные, крупнообломочные	Коэффициент пораженности территории (%)
		Криогенное выветривание		Техогенно-активизированное криогенное выветривание	Любые	Скорость выветривания (м/год), коэффициент выветривания и др.
	Оттаивание (посткриогенные)	Промерзание и протаивание	Сезонное	Техогенное промерзание и протаивание	Дисперсные	Глубина сезонного промерзания и оттаивания (м)
		Термокарстовый	Начальной, зрелой и конечной стадий	Техогенно-активизированный термокарст	Дисперсные	Коэффициент пораженности территории (%) Продолжительность проявления (лет)
		Солифлюкционный	Солифлюкция: быстрая медленная	Техогенная солифлюкция	Дисперсные	Коэффициент пораженности территории (%) Скорость развития (см/год)
		Осадкa при оттаивании	Быстрая Медленная	Техогенная осадкa при оттаивании	Дисперсные	Величина осадки (%)

Примечание: * указаны наиболее часто употребляемые в инженерно-геологических целях количественные показатели.

И, наконец, в последнем 7-м столбце классификации указываются количественные показатели для оценки особенностей тех или иных процессов в инженерно-геологических целях.

Заключение. Таким образом, в представленной классификации авторы попытались максимально учесть все недостатки, отмеченные в подобных классификациях предшественников. Предложенная

общая инженерно-геологическая классификация процессов в наиболее полной мере отражает современные представления об этих процессах и их многообразии, она в наиболее удобной форме синтезирует их важнейшие особенности и предназначена для практических инженерно-геологических исследований и инженерно-геологических изысканий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белый Л.Д. Инженерная геология: Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1985. 232 с.
2. Белый Л.Д., Попов В.В. Инженерная геология: Учеб. пособие для вузов. М.: Стройиздат, 1975. 312 с.
3. Бондарик Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии. М.: Недра, 1981. 256 с.
4. Бондарик Г.К., Пендин В.В., Ярг Л.А. Инженерная геодинамика: Учебник. М.: КДУ, 2007. 440 с. (2-е изд. М.: КДУ, 2015.)
5. Галкин А.Н., Павловский А.И. Классификация инженерно-геологических процессов и явлений на территории Беларуси // Вестник Витебского гос. ун-та. Сер. Геология. 2017. № 3. С. 116–121.
6. Золотарёв Г.С. Инженерная геодинамика: Учебник. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. 328 с.
7. Инженерная геология России. Т. 2. Инженерная геодинамика территории России / Под ред. В.Т. Трофимова и Э.В. Калинина. М.: КДУ. 2013. 816 с.
8. Квашиук С.В. Геодинамика Приамурья и проблемы функционирования сети железных дорог: Автореф. дисс. ... докт. г.-м. наук. Хабаровск, 2004. 24 с.
9. Коломенский Н.В. Инженерная геология: Учебник для техникумов. Ч. 2. М.: Недра, 1956. 320 с.
10. Королев В.А., Галкин А.Н. Геологические и инженерно-геологические процессы и явления: определение и содержание понятий // Инженерная геология. 2011. № 1. С. 19–27.
11. Котлов Ф.В. Инженерно-геологические процессы и явления и закономерности их формирования // Проблемы инженерной геологии. М., 1970. С. 184–188.
12. Котлов Ф.В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Недра, 1978. 263 с.
13. Котлов Ф.В., Брашнина И.А., Сиягина И.К. Город и геологические процессы / Госстрой СССР. Производ. и науч.-исслед. ин-т по инж. изысканиям в строительстве. М.: Наука, 1967. 226 с.
14. Красилова Н.С. Классификация природных процессов: инженерно-геологические и эколого-геологические аспекты // Теоретич. проблемы инж. геологии: Тр. Межд. научн. конф. / Под ред. В.Т. Трофимова и В.А. Королева М.: Изд-во МГУ, 1999. С. 137–138.
15. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика: Учебник. Л.: Недра, 1977. 479 с.
16. Николаев Н.И. Опыт построения классификации физико-геологических процессов и явлений, имеющих инженерное значение // Вопросы географии. 1947. Вып. 4. С. 115–128.
17. Николаев Н.И. Опыт построения генетической классификации экзогенных физико-геологических процессов // Тр. Комисс. по изучению четвертич. периода. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1948. вып. 1. С. 3–15.
18. Опасные экзогенные процессы / В.И. Осипов, В.М. Кутепов, В.А. Зверев и др. М.: ГЕОС, 1999. 290 с.
19. Панюков П.Н. Инженерная геология. М.: Госгортехиздат, 1962. 344 с.
20. Познанин В.Л. Уровни организации вещества литосферы // Глобалистика: Энциклопедия. М.: Радуга, 2003. 1052 с.
21. Попов И.В. Инженерная геология: Учебник. М.: Госгеоллиздат, 1951. 442 с. (2-е изд. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1959. 510 с.)
22. Природные опасности России. Геоэкологические опасности / Л.С. Гарагуля, С.Н. Булдович, В.Е. Романовский и др. М.: КРУК, 2000. 315 с.
23. Саваренский Ф. П. Инженерная геология. М.; Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1937. 443 с. (2-е изд. М.: ГОНТИ, 1939. 489 с.)
24. Сергеев Е.М. Инженерная геология: Учебник. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. 384 с.
25. СП 115.13330.2016. Свод правил. Геофизика опасных природных воздействий // Актуализированная редакция СНиП 22-01-95. М.: Стандартинформ, 2018. 35 с.
26. Толстых Е.А., Клюквин А.А. Методика измерения количественных параметров экзогенных геологических процессов. М.: Недра, 1984. 117 с.
27. Шеко А.И. Классификация современных геологических процессов, интенсивность и активность их // Современные геологические процессы на Черноморском побережье СССР. М.: Недра, 1976. С. 14–21.
28. Шеко А.И., Круподеров В.С. Оценка опасности и риска экзогенных геологических процессов // Геоэкология. 1994. № 3. С. 11–21.

Статья поступила в редакцию 14.12.2022,
одобрена после рецензирования 02.11.2022,
принята к публикации 16.08.2023