

УДК 504.55.06(504.001)

**Познанин В.Л.**

Пространственная дифференциация геологической среды — основа единой системы экзогенных геологических процессов

Познанин Валентин Львович, доктор географических наук, главный научный сотрудник отдела инженерно-геологических исследований Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМ-ГРЭ) МПР-РАН

E-mail: poznanin@list.ru

В статье обсуждается идея создания единой системы экзогенных геологических процессов рельефообразования суши как функциональной целостности бесконечного числа разномасштабных асинхронных перемещений ограниченных объемов горных пород. На основе общих методологических подходов анализируются фундаментальные свойства геологической среды для логического сопоставления уровней организации вещества литосферы с иерархией современных ландшафтов в рамках определенных пространственных пределов (10^{-8} – 10^7 м) и временных интервалов (10^{-7} – 10^{11} с). В установленных пространственно-временных пределах предложено содержание уровней проявления экзогенных геологических процессов в виде целостной соподчиненной системы элементов экзогеодинамики.

Ключевые слова: экзогенные геологические процессы, горные породы, состав, строение, геологическая среда, геосистемы, фундаментальные свойства, уровни организации, функциональное единство, эталон активности экзогенных процессов, состояние, природные среды, взаимодействие (энергомассообмен).

Введение

Идея поиска единства в системе экзогенных геологических процессов (ЭГП) выглядит по меньшей мере странной в силу генетического разделения процессов по классам на основе жестких критериев деления при классифицировании¹. Однако 40-летний опыт работы автора по исследованию механизмов наиболее сложных в структурном отношении процессов — эрозионных, селевых, гляциальных и криогенных — позволил вплотную подойти к решению этой проблемы².

Для решения необходимы определенные методологические подходы (основания) для анализа фундаментальных свойств геологической среды как арены развития экзогенных процессов не «вообще» на поверхности суши, а в рамках некой геосистемы более общего порядка — уровней организации вещества литосферы³. Такая система уровней представляет собой не просто матрицу для заполнения эмпирическими материалами полевых наблюдений, а служит методом пространственно-временного исследования экзогенных процессов, поскольку границы между уровнями обоснованы физически по гравитационному критерию⁴. Чтобы такая система функционировала, необходимо гравитационные уровни увязать с тепловой энергетикой ландшафтов — фотосинтезом.

Тогда направленные перемещения горных пород как отражение сущности экзогенных геологических процессов будут развиваться на поверхности суши не только за счет гравитации и колебаний тепла солнечной радиации, но и за счет действия вещественных природных сред — ветра, потоков воды, снега и льда, формирования и вытаявания подземного льда, — что, собственно, и наблюдается на планете. Этим логическим приемом окончательно снимается видимое противоречие между веществом и полем в системе экзогенеза⁵, хотя указанный парадокс был устранен автором еще при создании факторной классификации процессов рельефообразования в криолитозоне⁶.

¹ Проблемы классифицирования склоновых гравитационных процессов. М.: Наука, 1985. 204 с.

² Познанин В.Л. Механизмы селевых ледниковых катастроф: Колка 2002. М.: ИМГРЭ, 2009. 180 с.

³ Познанин В.Л. Уровни организации вещества литосферы // Глобалистика: Энциклопедия. М.: Радуга, 2003. С. 1052.

⁴ Познанин В.Л. О реальности существования уровней организации вещества литосферы // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. М.: ВИНТИ. 2000. № 3. С. 78–89.

⁵ Проблемы классифицирования склоновых гравитационных процессов...

⁶ Познанин В.Л. Факторная классификация процессов рельефообразования в криолитозоне // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. М.: ВИНТИ. 2000. № 3. С. 43–48.

Единство системы экзогенных геологических процессов требует применения универсального эталона их активности для измерения и количественных оценок любых по масштабу (по уровням) проявления процессов – от микропроцессов срыва пылеватых частиц грунта до катастрофических обвалов, оползней, селей объемом в сотни млн. м³. Если такой эталон есть и он вписывается в систему уровней организации экзогенных процессов, – проблема решена.

1. Методологические основания создания единой системы ЭГП

В соответствии с современными методологическими разработками ряда исследований в области инженерной геологии, геокриологии, гляциологии и геоэкологии¹ под основаниями любой решаемой проблемы принято понимать совокупность исходных идей, понятий, принципов и методов изучения. В качестве исходной позиции выдвинута идея создания единой, функционально целостной системы экзогенных геологических процессов (ЭГП) рельефообразования суши.

Такая система требует аналитического осознания природных условий возникновения, развития и стабилизации ЭГП любого масштаба с самых общих теоретических позиций – геотектонических, формационных, генетических, возрастных, литологических и ландшафтно-фациальных. Ключевым моментом в теории инженерной геологии и, в частности, в геодинамике являются представления о фундаментальных свойствах горных пород и уровнях организации геологической среды².

Для того чтобы теоретические подходы к созданию универсальной системы ЭГП были понятны, основные термины используются в общепринятом значении с целью избежать ненужных противоречий и малосодержательных дискуссий. В тех же случаях, когда применяется новый термин или дополняется содержанием известное понятие, в тексте приведены соответствующие пояснения.

Разработка универсальной системы ЭГП (экзогеосистемы) требует формулировки определенных целевых принципов исследования фундаментальных свойств и пространственной дифференциации геологической среды на эталонные, иерархически соподчиненные части методами системного и структурного анализа.

Возможности использования системно-структурного анализа природных условий развития ЭГП ограничены непрерывностью геологической среды как части литосферы и асинхронной прерывностью самих процессов. Кроме того, геосистемы в пределах любой территории не даны в явном виде, поскольку они проявляются во множестве компонентов и связей так, что их системность поначалу угадывается лишь интуитивно. Прямых признаков выделения геосистем нет. Геосистемы в качестве объекта исследования ЭГП необходимо выделять, опираясь на имеющийся эмпирический полевой материал. На такой основе становится возможным теоретическое обобщение данных, комбинирование, конструирование и создание геодинамических моделей с качественным и количественным описанием взаимодействующих элементов и основных связей между ними. В самом общем виде геодинамическая модель представляет собой логическую, иерархическую соподчиненную схему для воспроизведения природных объектов и экзогенных процессов конечной сложности. Ограничение сложности моделей ЭГП обусловлено воспроизведением на плоскости основного набора признаков и свойств в пределах каждого элемента-ячейки, содержательность которых конечна в любой схеме, на каждом информационном слое.

Использование системно-структурного анализа позволяет установить определенную функциональную соподчиненность геологических объектов, процессов и явлений, поскольку любая геосистема состоит из определенного, конечного набора элементов данного уровня. Элементы любой геосистемы реально имеют заданный размер, форму, сложение и свойства. Они определенным образом располагаются друг относительно друга, испытывают взаимное воздействие и реагируют на изменение внешних, внесистемных воздействий климатических, гидрологических, геохимических и других природных факторов. Фактор экзогенных процессов – сила, действующая на горные породы и имеющая величину, точку приложения и направление, т.е. величина векторная в отличие от природных условий как величины скалярной.

Горные породы непрерывно взаимодействуют с контактирующими частями атмо-, гидро-, крио- и биосферы, в результате чего происходит их разрушение и направленное перемещение в виде потоков вещества – экзогенных геологических процессов, которые аккумулируют переносимый материал, происходит его уплотнение и литификация в форме геологических тел. Энергомассообмен между горными породами и внешними природными средами на фоне энергетических полей гравитации и солнечной радиации наиболее активно протекает на границах раздела сред в зонах их взаимного проникновения – в так называемых контактных зонах³. Именно поверхностные слои горных пород являются ареной резких скачков скорости перемещения материала за счет структурных и энергетических изменений состояния взаимодействующих сред.

Энергомассообмен между элементами геосистем в естественных условиях носит закономерный характер, нарушаемый катализаторами-ускорителями ЭГП – сейсмикой, вулканизмом и техногенезом. При этом горные породы, поддерживая функциональную устойчивость геосистем, определенным образом реагируют – возникают новые связи, корректируются и саморегулируются старые устойчивые функциональные связи. Все это проявляется в формировании новых очагов ЭГП и активизации старых. Активизация процессов представляет собой аномальные скачки скорости их протекания выше некоторого фоновое уровня – порога активности, превышение которого потенциально может возрастать до физического предела активности экзогенного процесса.

¹ Основы геокриологии Ч. 4: Динамическая геокриология. М.: Изд-во МГУ, 2001. 688 с.; Прозоров Л.Л. Геоэкология: методологические основы. М.: ВНИИЗарубежгеология, 1997. 110 с.; Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы. М.: Недра, 1985. 332 с.

² Бондарик Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии. М.: Недра, 1981. 256 с.

³ Познанин В.Л. Механизмы селевых ледниковых катастроф...

Методологическая значимость системно-структурного подхода к исследованию ЭГП заключается в том, что свойства геосистем высоких порядков всегда присутствуют в подсистемах и системах низших порядков. Вместе с тем, любая из геосистем высоких уровней может быть охарактеризована как функциональная совокупность геосистем низшего уровня. По сути, речь идет о нелинейности прямых и обратных связей между геосистемами разного порядка. Процедура разделения объекта геологической среды – процесса – на элементы не является зеркальным отражением функционального объединения элементов в данный объект (процесс) геологической среды. Эффект функционально-структурной сдвижки операции разделения-объединения геосистем любого порядка можно назвать «*динамическим гистерезисом*» экзогенных процессов как формы закономерного развития геологической среды. Реально он возникает и существует за счет однонаправленности временных изменений геологической среды. Следовательно, естественные процессы разрушения, движения, аккумуляции и литификации горных пород могут протекать одновременно в различных частях геологического пространства или поочередно, циклически сменять друг друга в данном месте в ходе исторического развития (эволюции) геологической среды и проявляться в закономерной смене различных устойчивых сочетаний экзогенных процессов (комплексов).

2. Фундаментальные свойства геологической среды и экзогенных процессов

Непрерывность геологической среды предполагает дифференциацию горных пород по геосистемным признакам разных уровней. Такая процедура логически вытекает из фундаментальных свойств геологической среды как целого – физических полей и вещества литосферы, находящегося в твердом, жидком и газообразном состояниях, как упорядоченной совокупности материальных сред с закономерными отношениями между ними и их свойствами.

Важнейшим фундаментальным свойством геологической среды принято считать ее *изменчивость* – способность трансформироваться во времени и пространстве¹.

Временная изменчивость геологической среды проявляется в непрерывном направленном развитии ее частей и целого: эволюция геологических объектов и литосферы, в целом, носит необратимый во времени характер. Пространственная изменчивость геологической среды отчетливо проявляется на любом уровне за счет наличия неоднородности среды при движении по любой из координат и анализе любых показателей – возрастных, генетических, фациальных, структурных и др. *Неоднородность* геологической среды можно рассматривать как следствие изменчивости, динамичности которой в пространстве – времени обуславливает существование *дискретности* геологической среды. Свойство дискретности (прерывистости) геологической среды не просто проявляется в виде трещиноватости, пустотности и других характерных случаев смены компонент, но и отражает часть границ геологических объектов. Вопрос о границах геосистем всегда имеет отчетливо дискуссионный оттенок, хотя большинство исследователей проводит границы объектов по морфологическим признакам.

Использование морфологии при описании геологических объектов привело к установлению такого важного свойства геологической среды как *симметрия – дисимметрия*, которая отчетливо проявляется при анализе форм рельефа и их динамики. По сути, это свойство геологической среды отражает ее нестационарность, динамичность и, следовательно, неодинаковость состава, строения и состояния горных пород в физическом времени в горизонтальной плоскости и по вертикали. Пространственно-временная неоднородность горных пород характеризует *анизотропность* геологической среды – неодинаковость структуры и свойств любых геологических объектов за счет тектурных различий, наличия слоистости, ярусности и других форм организации геологической среды.

Наличие геологических структур различных уровней и масштабности, с одной стороны, отражающие целостность, непрерывность и изменчивость геологической среды, а, с другой стороны, обуславливающие ее неоднородность, дискретность, анизотропность и симметрию-дисимметрию, прямо указывает на то, что в разных областях геологического пространства в различные по протяженности интервалы времени возникают однотипные элементы геологической среды с аналогичными связями и свойствами, т.е. формируются компоненты инженерно-геологических условий развития экзогенных процессов. Такая самоорганизующая способность геологической среды отражает самое важное фундаментальное свойство – ее *организационность*, которая отчетливо проявляется на всех уровнях – от минералов до литосферы как целостной функционирующей системы².

Функциональная целостность литосферы позволяет сделать вывод о бесконечном числе геологических объектов, процессов и явлений разного уровня организации. Вместе с тем, любой геологический объект уникален и не тождественен другому объекту, хотя при всей их уникальности и непохожести всегда возможно выделить определенные множества таких объектов, которые обладают общими признаками состава, строения и свойств. Наличие совокупности общих черт таких геологических объектов позволяет объединить их в некие группы, которые собственно и представляют собой уровни организации геологической среды. Геосистемы, как объекты геологической среды, всегда представлены в виде иерархии по размерам, форме, составу, строению и свойствам горных пород. Замечательная особенность геологических объектов разных уровней организации заключается в их *информативности* – наличии определенных информационных признаков изменяющейся в пространстве – времени геологической среды, которые наиболее отчетливо проявляются в развитии ЭГП.

Поэтому представляется вполне обоснованным и логичным поиск универсального физического эталона активности для создания единой системы ЭГП с позиции многоуровненности организации геологической среды. Поиск такого эталона оказался успешным³ при исследовании сущности и фундаментальных свойств самих экзогенных процессов.

¹ Бондарик Г.К. Указ. соч.; Драгунов В.И. Геология и изучение элементов, структуры и уровней организации вещества // Общие закономерности геологических явлений. Вып. 1. Л.: ВСЕГЕИ, 1965. С. 55–67.

² Бондарик Г.К. Указ. соч.; Драгунов В.И. Указ. соч.

³ Познанин В.Л. Механизмы селевых ледниковых катастроф: Колка 2002. М.: ИМГРЭ, 2009. Стр.34.

Экзогенные процессы являются наиболее яркой формой изменчивости геологической среды: любой процесс можно наблюдать визуально как направленное перемещение ограниченных объемов горных пород в виде обвалов, оползней, селей, снежных лавин и других. Следовательно, любой экзогенный процесс, являясь частью пространственно-временной трансформации геологической среды, будучи ее подсистемой, должен характеризоваться теми же фундаментальными свойствами плюс некими специфическими свойствами, присущими только процессам.

Изменчивость, неоднородность, дискретность, симметрия-дисимметрия и анизотропность состава, строения, свойств и форм экзогенных процессов отчетливо проявляются при их формировании, сходе и аккумуляции перемещенных горных пород и поэтому не требуют специального обоснования.

Особое место занимает свойство *самоорганизации* (автомодельности) экзогенных процессов. Оно проявляется в способности процессов воспроизводить характерные формы рельефа, причем только те, которые стимулируют протекание процесса, отражают его внешнюю, деформированную энергомассообменом внешнюю структуру – пространственные границы, в пределах которых сохраняется динамическая устойчивость взаимодействующих сред. Кроме того, оно отражает эволюционную цикличность в развитии экзогенных процессов: эффекты самозарождения, саморазвития вплоть до самоуничтожения установлены для ряда процессов¹.

Нам удалось эмпирически установить ряд специфических свойств экзогенных геологических процессов.

Неравномерность, скачкообразность или импульсивность протекания процессов представляет собой колебания сезонной или межсезонной активности в течение разных по длительности отрезков времени (секунды-сутки-годы). Это свойство проявляется в пространственной конфигурации создаваемых процессами форм рельефа.

Избирательность – особое свойство экзогенных процессов. Оно отчетливо проявляется в пространственной колебательной миграции и кумулятивной локализации очагов зарождения и развития процессов в направлении наиболее благоприятных условий движения грунтовых масс, в своеобразном «нащупывании» мест с минимальной энергией сопротивления. Русловое раскачивание селевых потоков, карстово-суффозионное проваливание грунтовых блоков, прыжки снежных лавин, соскальзывание термоэрозионных потоков на контакт с подземным льдом и др. – примеры проявления избирательности ЭП.

Гистерезис характеризует инерционность экзогенных процессов. Он проявляется во временной сдвиге, запаздывании меняющихся форм процессов от вызывающих их сил или в отставании средней фактической скорости протекания от потенциальной за счет частичного рассеяния энергии в очагах формирования, транзитных зонах и аккумулятивных полях. Так, например, силы, необходимые для локального приподнимания грунта при формировании бугров пучения гидроакколитов, существенно меньше сил криогенного давления в замкнутом промерзающем объеме водонасыщенного грунта.

Эмпирически установленные специфические свойства экзогенных процессов сравнивались с фундаментальными свойствами геологической среды. Оказалось, что обе группы свойств хорошо коррелируются друг с другом, поскольку любой экзогенный процесс можно рассматривать как форму закономерного необратимого движения приповерхностных слоев горных пород, обусловленного взаимодействием с внешними средами и внутренними взаимодействиями между элементами экзосистем. Значимость исследования фундаментальных свойств экзогенных процессов не ограничивается возможностью глубинного понимания сущности процессов. Так, детальный анализ избирательности термоэрозии позволил установить конструктивные особенности ряда методов инженерной защиты от оврагообразования в криолитозоне.

3. Уровни организации вещества литосферы и экзогенных геологических процессов

Современные представления об уровнях организации вещества литосферы и объектах геологической среды базируются на идеях, сформулированных еще в 1965 г. В.И. Драгуновым² и развитых затем в работах других исследователей³. Само название уровней прекрасно коррелирует с фундаментальным свойством организационности геологической среды.

Исследуя общие закономерности строения литосферы и ее частей, В.И. Драгунов пришел к выводу о том, что структурное (т.е. пространственное) описание геологической среды имеет значительные преимущества перед ее генетическим описанием (т.е. временным, причинно-следственным), поскольку свойства пространства изучены значительно лучше, чем свойства времени, и представления о них гораздо более наглядны, чем о свойствах времени⁴. Кроме того, выделяя и обосновывая четыре уровня организации горных пород – минералы, горные породы, формации, литосфера, он утверждал, что геологические объекты любого уровня могут быть описаны и охарактеризованы через их внутреннюю структуру и составляющие их элементы – объекты. По сути, В.И. Драгунов целенаправленно ввел в геологию системно-структурный анализ как метод исследования геологической среды.

Развивая идеи предыдущего исследователя в рамках общей теории Земли, И.В. Круть выделил в пределах литосферы аналогичные уровни организации геосистем, дополнив их геотектоническим уровнем, предшествующим литосферному⁵.

Разрабатывая общую теорию инженерной (физической) геологии, Г.К. Бондарик⁶ использует представления

¹ Познанин В.Л. Механизмы селевых ледниковых катастроф...

² Драгунов В.И. Указ. соч. С. 55–67.

³ Круть И.В. Введение в общую теорию Земли. Уровни организации геосистем. М.: Мысль, 1978. 368 с.; Толстых Е.А. Классификация методов изучения гравитационных склоновых процессов // Проблемы классифицирования склоновых гравитационных процессов. М.: Наука, 1985. С. 174–190 и др.

⁴ Драгунов В.И. Указ. соч. С. 61–62.

⁵ Круть И.В. Указ. соч.

⁶ Бондарик Г.К. Указ. соч.

об уровнях организации геологической среды и выделяет в пределах формационного уровня семь инженерно-геологических объектов по мере увеличения занимаемого ими пространства: монопородные геологические тела (1-го, 2-го, 3-го порядка), стратиграфо-генетические комплексы, генетические типы горных пород, формации и структурные этажи. Причем автор подчеркивает, что выделенные таксоны по сути представляют собой геологические тела, обособляемые не только по размерам, но и по возрасту, генезису, стратиграфическому положению и ряду других признаков.

Наиболее полный перечень уровней организации вещества приводит Е.А. Толстых¹ в рамках разработанной им концепции несплошных сред, для обоснования которой было выделено 16 уровней – от элементарных частиц до сверхскоплений галактик. Интересующие нас объекты литосферы дифференцированы Е.А. Толстых на семь уровней: адсорбционный объем, образцы горных пород, массивы, геологические тела, геоструктуры, плиты планетарные, литосфера полушарий. Для каждого уровня автором приведены размеры определяющих областей измерения, т.е. пространственные пределы, в которых измерение имеет реальный физический смысл. Так, плановые размеры геологических тел и геоструктур лежат соответственно в интервалах 10–50 м и 1–2000 км, что весьма спорно и потребовало в дальнейшем принципиальной корректировки.

Детально рассматривая вопрос о формах и уровнях организации геологических объектов, В.Т. Фролов разделил пространство литосферы на два мегауровня: минерально-породный и структурно-исторический². В пределах каждого мегауровня снизу вверх он выделил по четыре иерархических элемента и соответствующих им тел объектов: на первом мегауровне представлены минерал (кристалл, аморфное тело), порода (слой), элементарный циклит (пачка однородных циклитов), парагенерация (фации, свита, формация), а на втором мегауровне – формации (элементарные циклы формаций), геоконтакты, платформенные системы, литосфера.

Аналитическая проработка изложенных сведений была выполнена в работах автора³ для установления реальных пределов уровней организации горных пород, с физическим обоснованием границ уровней и наполнением этих уровней инженерно-геологическим и геодинамическим содержанием с целью исследования как механизмов, так и закономерностей пространственно-временного развития экзогенных физико-геологических процессов в определенных пространственных границах и временных интервалах. Особое внимание в этих разработках уделено физико-геологической процедуре смены объемно-вертикальной структуры горных пород (точечный – детальный уровень) на объемно-горизонтальную структуру (локальный – региональный уровень) в зависимости от размеров, плотности сложения, сцепления и других свойств горных пород на границе детальный – локальный уровни (см. табл. 1). Значимость этой процедуры заключается в том, что именно плоские объемно-площадные образования геологических тел и формаций выступают в качестве инженерно-геологических условий проявления и развития ЭГП, а информация о плоских телах берется по объектам с объемно-вертикальной структурой – разрезам, шурфам, скважинам. Такая процедура снимает противоречие между квазистатикой и геодинамикой геологических объектов: их вертикальные размеры не могут превышать предел формосохраняемости за счет раздавливания этих объектов собственным весом горных пород.

Объемно-вертикальная структура геологической среды представляет собой иерархически соподчиненную систему инженерно-геологических объектов: микрочастицы минералов, микрокристаллы льда и многослойные водные пленки слагают элементы горных пород, совокупность которых представлена образцами – множеством частей грунтовых толщ и блоков горных пород как целостных образований определенного состава и строения с характерными для них свойствами.

Объемно-горизонтальная структура геологической среды как целостная совокупность разномасштабных геологических тел, литолого-фациальных и генетических комплексов горных пород разных порядков вплоть до формаций потребовала разделения локального уровня на три части: локальный, местный, территориальный (см. табл. 1). Это полностью соответствует геосистемным разработкам методов мониторинга экзогенных процессов и экологического районирования регионов страны⁴.

Логическим дополнением идеи моделирования экзогеосистемного порядка являются разработки Д.С. Дроздова⁵. В них обоснована необходимость дробной дифференциации инженерно-геологических объектов локального, местного и территориального уровней геологической среды для корреляции с таксонами геосистем в ранге ландшафтных комплексов: от уровня фации до ландшафтной страны.

Сопоставление инженерно-геологического и ландшафтного содержания уровней организации геологической среды литосферы позволяет по-новому подойти к пониманию взаимодействия горных пород и природных сред как главного условия возникновения и развития экзогенных геологических процессов за счет действия физических факторов – гравитационного, термического, эолового, флювиального, инфильтрационного, гляциального, криогенного⁶, а также биогенного и техногенного.

¹ Толстых Е.А. Указ. соч.

² Фролов В.Т. К вопросу о формах и уровнях организации геологических объектов // История и методология естественных наук. Вып. 33. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. С. 9–19.

³ Познанин В.Л. О реальности существования уровней организации вещества литосферы...; Он же. Уровни организации вещества литосферы... и др.

⁴ Методические рекомендации по мониторингу ЭГП. М.: ВСЕГИНГЕО, 1997. 64 с.; Экологический атлас России. М.: Изд-во МГУ, ЗАО «Карта», 2002 и др.

⁵ Вечная мерзлота и освоение нефтегазоносных районов. М.: ГЕОС, 2002. 402 с.; Дроздов Д.С. Информационно-картографическое моделирование природно-техногенных сред в геокриологии. Автореф. дисс. ... д. геол.-мин.наук. Тюмень: ИКЗ РАН, 2004. 49 с. и др.

⁶ Познанин В.Л. О реальности существования уровней организации вещества литосферы...; Познанин В.Л., Геворкян С.Г. Элементы иерархии и формализация структурной сложности процессов криогенного растрескивания и термоэрозии // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. М.: ВИНТИ. 2000. № 3. С. 55–63 и др.

Таблица 1

Геодинамические уровни организации экзогенных геологических процессов

Уровни организации вещества литосферы				Пространств. пределы	Временные интервалы	Геодинамическое содержание уровней
№	Название	Геосистемное содержание уровней				
		Инженерно- геологическое	Ландшафтное			
10	Глобальный	Литосфера	–	до 40000 км	–	Глобальная денудация
9	Сегментный	Плиты планетарные	–	до 10000 км	–	Материковая денудация
8	Региональный	Геоструктуры	Ландшафтная страна	160–4000 км	до 10000 лет	Комплексы денудации
7	Территориальный	Формации	Ландшафтная провинция	30–160 км	1–100 лет	Генетические комплексы потоков дальнего переноса
		Субформации	Ландшафтная подпровинция			
		Генетические комплексы 1-го порядка	Ландшафтный район			
		Генетические комплексы 2-го порядка	Группа ландшафтов			
		Стратиграфо- генетич. комплекс	Ландшафт			
6	Местный	Литолого- фациальный компл. 1-го порядка	Местность	3–30 км	1 мес.–1 год	Генетические типы асинхронныхпотоков ближнего переноса
		Литолого- фациальный компл. 2-го порядка	Группа урочищ			
		Часть ЛФК 2- го порядка	Урочище			
5	Локальный	Монопородное геологическое тело 1-го порядка	Фациальные комплексы	0,25–3 км	4–40 суток	Основной генетический тип потоков горных пород, воды и льда
		МГТ 2-го порядка				
		МГТ 3-го порядка	Фация			
4	Детальный	Грунтовые толщи		4–250 м	1–100 час	Структурирование потоков
3	Эталонный	Образцы горных пород		0,3–3 м	1–100 мин.	Массовый снос
2	Элементарный	Элементы горных пород		0,1–14 см	0,01–10 с	Отрыв частиц
1	Точечный	Микрочастицы		10 ⁻⁶ –10 ⁻² см	10 ⁻⁷ –10 ⁻³ с	Сдвиговые эффекты

Инженерно-геологическое разнообразие уровней организации геологической среды существенно шире ландшафтного содержания, поскольку на глобальном уровне нет единого планетарного ландшафтного таксона, а ландшафты подводных территорий и материков отражают их развитие на сегментном (материковом и океаническом) уровнях в пределах соответствующих частей земной коры. Кроме того, смена сферически изогнутой субгоризонтальной структуры инженерно-геологических объектов на объемно-вертикальную низких уровней не имеет своего аналога в ландшафтных таксонах. Любое уменьшение фации до подфации или микрофации не изменит горизонтальности объекта; его вертикальность заключается в последовательной смене слоев живого растительного, биокосного почвенного и абиогенного горнопородного вещества. Дискуссионность абиогенности горных пород весьма условна.

Замечательное свойство ландшафтов заключается в способности накапливать энергию солнечной радиации за счет поглощения тепла почвенно-грунтовым слоем и ее усвоения зелеными растениями при фотосинтезе. Именно в этом заключается энергетическое единство ландшафтов и поверхностных слоев горных пород как

части инженерно-геологических объектов разного уровня. Главное различие обоих типов объектов заключается в том, что инженерно-геологическое содержание уровней организации геологической среды (см. таблицу) жестко подчиняется гравитационному критерию деления, т.е. действию гравитационного фактора¹, а ландшафтное – действию радиационно-термического фактора и, следовательно, тепловому критерию деления в зависимости от площади или линейных размеров ландшафтов.

Линейные размеры первоначально были получены только для пространственных пределов изменения геологических объектов по данным полевых режимных и натурных экспериментальных наблюдений за возникновением и развитием эрозионно-селевых, криогенных и других экзогенных процессов. При анализе и обобщении литературных источников было обнаружено, что экспериментально установленные размеры ряда уровней соответствуют статистическим данным о крупности геологических объектов, времени активного протекания событий и энергии трансформации геологической среды, полученным академиком М.А. Садовским².

Пространственно-временная организация геологической среды требует независимой проверки соотношения хотя бы линейных размеров инженерно-геологических и ландшафтных объектов на локальном уровне, где происходит объемная смена структуры вещества, по значению теплового (энергетического) эталона активности экзогенных процессов. Такой эталон был нами получен и использован для установления количественных критериев крупности обвалов горных пород при ударном взаимодействии с горными ледниками как одного из наиболее сложных в структурном отношении экзогенных геологических процессов³. Величина эталона составляет около 10^{12} Дж. Его отношение к средним значениям теплового баланса радиации почвенно-грунтового слоя (около 100 Вт/м^2) и энергии фотосинтеза (около 1 Вт/м^2) в течение 100 часов, как временной границы уровня, дают размеры площади, соответственно, $0,03 \text{ км}^2$ и $3,6 \text{ км}^2$. Диапазон линейных размеров локального уровня при этом составит 170–1900 м, что несколько сдвинуто в сторону занижения пространственных пределов. Полученный результат, как способ предварительной проверки правильности пространственно-временных пределов локального уровня, вполне приемлем. Причины пространственной сдвижки (гистерезиса) пока не вполне ясны и требуют дальнейших исследований.

Пространственно-временное и энергетическое единство уровней организации геологической среды дает возможность впервые отразить ее изменчивость – геодинамическое содержание уровней в виде функционально соподчиненной системы элементов экзогенных геологических процессов (см. таблицу).

Сходная попытка изображения иерархии и взаимосвязи двух криогенных процессов (термоэрозии и растрескивания) с процессами разных генетических типов была предпринята В.Л. Познаниным и С.Г. Геворкяном более 10 лет назад⁴ путем дифференциации процессов локального уровня вплоть до точечного уровня. Была установлена тенденция уменьшения числа процессов при переходе на все более низкий уровень вплоть до сдвиговых эффектов разной природы, силы и направленности на точечном уровне⁵. Именно сдвиг микрочастиц можно рассматривать в качестве самого простого проявления экзогенного геологического процесса независимо от его генезиса.

Генетическая независимость процесса сдвига на точечном уровне, его всеобщность и универсальность, позволяют методами синтеза последовательно изобразить движение горных пород, воды и льда как направленных потоков вещества, отражающих сущность ЭГП на любом масштабном уровне вплоть до глобального (см. таблицу). Такое изображение ограничено рамками геодинамических ячеек и поэтому требует пояснений.

Сдвиговые эффекты происходят в любой горной породе от дисперсных пылеватых до скальных грунтов: в первых они вызваны силовым воздействием внешних сред (ветра, воды, снега, льда), во вторых – накоплением, разрядкой напряжений: при формировании микротрещин шириной $0,1 \text{ мм}$ и скорости процесса около 1000 м/с время ее формирования составляет 10^{-7} с . Дальнейшее развитие трещины есть разрыв.

На элементарном уровне происходит отрыв частиц от разрушаемого слоя при совокупном действии сдвиговых эффектов, разворачивании, раскачивании, выталкивании, отстреле. Протекает дискретно-перманентное эмиссионное насыщение контактирующей среды или начало самостоятельного сноса – осыпания в гравитационном поле планеты.

Снос как начало направленного движения элементарных и более крупных частиц реализуется в их падении, осыпании, перекачивании, смыве водой, скольжении и самостоятельном проворачивании в водных облочках – течении. Такое перемещение частиц горной породы не имеет единого направления движения, хотя обычно протекает массово в виде лавинообразного нарастания числа начавших движение частиц на эталонном уровне вплоть до проявления свойства самоорганизации.

Свойство самоорганизации массового перемещения частиц разной крупности проявляется на детальном уровне в форме структурирования движущегося объема горных пород. Структурирование есть процесс дифференциации и выравнивания скорости взаимодействующих слоев при изменении соотношения количества горных пород, воды и льда в движущейся массе. Она начинает приобретать конкретные меняющиеся очертания, становится частью единой целостной структуры – потока.

Обваливание, осыпание, движение грунтово-воздушной (ветровой), грунтово-водной или водо-грунтовой массы, снежной, водо-снежной, водо-ледяной и любой другой субстанции в виде сформировавшегося направленного потока вещества с четко выраженными пространственными границами представляет собой тот или иной экзогенный процесс. На локальном уровне такие потоки почти всегда проявляются в виде одного-двух доминирующих ге-

¹ Познанин В.Л. О реальности существования уровней организации вещества литосферы...; Он же. Факторная классификация... С. 43–48.

² Детальные ссылки см. в работе: Познанин В.Л. Механизмы селевых ледниковых катастроф... С. 51.

³ Там же. С. 33–36.

⁴ Познанин В.Л., Геворкян С.Г. Указ. соч.

⁵ Там же. С. 58–59.

нетических типов, которые в подавляющем большинстве случаев имеют субгоризонтальное направление за исключением обвалов, пучения, карста и термокарста, имеющих субвертикальную составляющую движения.

Основной генетический тип процесса на локальном уровне может проявляться в виде структурированных (сложившихся динамически) потоков горных пород, воды и льда самого разного масштаба – от малых эрозионно-селевых или осыпных процессов протяженностью всего в 10–20 м с поперечником конусов выноса материала 1–3 м до гигантских обвалов, оползней, карстовых провалов объемом в миллионы м³. В первом случае обычно употребляется термин «микропроцесс», когда его линейные размеры свободно «вписываются» в рамки детального или эталонного уровней, которые имеют объемно-вертикальную структуру. Но она приемлема для квазистатических объектов геологической среды, способных удерживать определенную высоту вертикальной стенки¹. Для экзогенных процессов мы вынуждены «сдвинуть» основную границу вплоть до элементарного уровня – то есть здесь имеет место динамический гистерезис. Условность любых границ в геодинамике достаточно очевидна. Так, процесс плоскостного эрозионного смыва грунтовых частиц на склоне «опускает» границу субгоризонтальных процессов уже на элементарный уровень (см. таблицу).

Во втором случае, при проявлении очень крупных процессов, чаще употребляется термин «катастрофа».

Физического обоснования понятия «природная катастрофа» ЭГП пока нет. Этот термин произвольно наполняется «гигантскими» объемами, реже «очень высокими» скоростями потоков без их обоснования, а в последнее десятилетие термин все больше приобретает социальный стоимостный и даже страховой аспект в научных изысканиях. Вероятно, это есть парадокс избыточной информированности о последствиях крупных процессов при незнании и непонимании их сути. Единственный путь прояснения, а не запутывания ситуации – использование некоего «мерила» экзогенных процессов – эталона активности, каким бы странным он не казался².

Значимость количественных критериев катастроф ЭГП, – скажем, физически обоснованного соотношения объем-скорость, кроется в том, что проявление любого «крупного» процесса приводит к повреждению и даже гибели ландшафта в ранге фации. Сход вулканогенных селей в Исландии или на Камчатке, падение Сарезского обвала на Памире, Колкинский феномен на Кавказе уничтожили не только ландшафтные фации, но и более крупные таксоны, прекратив фотосинтез на огромных площадях.

Катастрофизм экзогенных процессов – показатель гибели ландшафтов разного уровня, отчетливо проявляется на более высоких уровнях организации ЭГП – местном, территориальном, региональном и зональном как части сегментно-материкового. При этом «микропроцессы» никуда не исчезают, их число при возрастании площади уровня быстро, иногда лавинообразно растет, а суммарный среднегодовой объем материала горных пород (или средний слой денудации) начинает стремительно превышать данный показатель катастроф или крупных проявлений ЭГП. Такая ситуация выявлена на трассе «Восточная Сибирь – Тихий океан».

С возрастанием уровня проявления ЭГП соотношение разномасштабных процессов меняется от генетических типов и комплексов потоков ближнего и дальнего переноса до устойчивых, сложившихся денудационных комплексов регионального уровня, денудации материков и дна океанов как осцилляционных всплесков активности, сжатых до реального восприятия временных отрезков в десятки миллионов лет. Планетарная денудация – вершина проявления и развития экзогенных геологических процессов.

Заключение

В настоящей статье впервые сделана попытка создания основы единой системы экзогенных геологических процессов рельефообразования суши как функциональной целостности бесконечного числа разномасштабных перемещений ограниченных объемов горных пород в виде структурированных потоков вещества в определенных пространственных пределах (10^{-8} – 10^{-7} м) и временных интервалах (10^{-7} – 10^{11} с) на разных уровнях организации вещества горных пород как части литосферы.

Выполненное исследование позволяет сделать ряд выводов.

1. Экзогенные геологические процессы как направленные потоки горных пород, воды и льда представляют собой наиболее яркую форму проявления закономерного развития геологической среды, отражения ее фундаментальных свойств и специфических свойств самих процессов – организационности (автомодельности), импульсивности (скачкообразности), избирательности (функциональной комбинаторики) и гистерезиса (инерционности).

2. Естественные процессы цикла ЭГП – разрушения, перемещения, накопления и литификации горных пород – протекают почти одновременно в разных частях геологического пространства или поочередно циклически заменяют друг друга на данном уровне организации геологической среды в ходе ее эволюции, проявляясь в закономерной смене устойчивых сочетаний – геодинамических комплексов.

3. Использование системного и структурного анализа статики и динамики геологической среды позволило сопоставить элементы горных пород в виде тел и их частей с ландшафтными таксонами разного ранга, обладающими способностью поглощать солнечную радиацию (включая фотосинтез), в рамках определенных пространственных пределов и временных интервалов.

4. Пространственно-временное и энергетическое единство инженерно-геологических и ландшафтных объектов привело к созданию функционально соподчиненного набора геодинамических комплексов на разных уровнях организации геологической среды.

5. В пределах каждого геодинамического комплекса доминирует свой характерный экзогенный процесс, начиная от самого простого сдвига грунтовых частиц до структурирования потоков, проявления которых на более высоких уровнях происходят в виде процессов любого масштаба – от микропроцессов до катастроф. Качественный кри-

¹ Познанин В.Л. О реальности существования уровней организации вещества литосферы... С. 78–89.

² Познанин В.Л. Механизмы селевых ледниковых катастроф...

терий катастроф – гибель фации, количественный – соотношение объема и скорости потоков, контролируемое пространственно-временным и энергетическим эталоном активности экзогенных геологических процессов.

Таким образом, пространственно-временное разделение геологической среды на уровни организации вещества литосферы позволило создать основу единой системы экзогенных геологических процессов рельефообразования суши в виде иерархически соподчиненных геодинамических таксонов от самого простого процесса – сдвига на точечном уровне, – до процесса планетарной денудации горных пород на глобальном уровне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондарик Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии. М.: Недра, 1981. 256 с.
Bondarik G.K. (1981). Obshchaya teoriya inzhenernoi (fizicheskoi) geologii. Nedra, Moskva. 256 p.
2. Вечная мерзлота и освоение нефтегазосных районов. М.: ГЕОС, 2002. 402 с.
Vechnaya merzlota i osvoenie neftegazonosnykh raionov. GEOS, Moskva. 2002. 402 p.
3. Драгунов В.И. Геология и изучение элементов, структуры и уровней организации вещества // Общие закономерности геологических явлений. Вып. 1. Л.: ВСЕГЕИ, 1965. С. 55–67.
Dragunov V.I. (1965). Geologiya i izuchenie elementov, struktury i urovnei organizatsii veshchestva. Obshchie zakonomernosti geologicheskikh yavlenii. Vyp. 1. VSEGEI, Leningrad. Pp. 55–67.
4. Дроздов Д.С. Информационно-картографическое моделирование природно-техногенных сред в геокриологии. Автореф. дисс. ... д. геол.-мин. наук. Тюмень: ИКЗ РАН, 2004. 49 с.
Drozdov D.S. (2004). Informatsionno-kartograficheskoe modelirovanie prirodno-tekhnogennykh sred v geokriologii. Avtoref. diss. ... d. geol.-min.nauk. IKZ RAN, Tyumen'. 49 p.
5. Круть И.В. Введение в общую теорию Земли. Уровни организации геосистем. М.: Мысль, 1978. 368 с.
Krut' I.V. (1978). Vvedenie v obshchuyu teoriyu Zemli. Urovni organizatsii geosistem. Mysl', Moskva. 368 p.
6. Методические рекомендации по мониторингу ЭГП. М.: ВСЕГИНГЕО, 1997. 64 с.
Metodicheskie rekomendatsii po monitoringu EGP. VSEGINGEO, Moskva. 1997. 64 p.
7. Основы геокриологии Ч. 4: Динамическая геокриология. М.: Изд-во МГУ, 2001. 688 с.
Osnovy geokriologii Ch. 4: Dinamicheskaya geokriologiya. Izd-vo MGU, Moskva. 2001. 688 p.
8. Познанин В.Л. О реальности существования уровней организации вещества литосферы // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. М.: ВИНТИ. 2000. № 3. С. 78–89.
Poznanin V.L. (2000). O real'nosti sushchestvovaniya urovnei organizatsii veshchestva litosfery. Problemy okruzhayushchei sredy i prirodnykh resursov. VINITI, Moskva. N 3. Pp. 78–89.
9. Познанин В.Л. Уровни организации вещества литосферы // Глобалистика: Энциклопедия. М.: Радуга, 2003. С. 1052.
Poznanin V.L. (2003). Urovni organizatsii veshchestva litosfery. In Globalistika: Entsiklopediya. Raduga, Moskva. P. 1052.
10. Познанин В.Л. Факторная классификация процессов рельефообразования в криолитозоне // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. М.: ВИНТИ. 2000. № 3. С. 43–48.
Poznanin V.L. (2000). Faktornaya klassifikatsiya protsessov rel'efoobrazovaniya v kriolitozone. Problemy okruzhayushchei sredy i prirodnykh resursov. VINITI, Moskva. N 3. Pp. 43–48.
11. Познанин В.Л. Механизмы селевых ледниковых катастроф: Колка 2002. М.: ИМГРЭ, 2009. 180 с.
Poznanin V.L. (2009). Mekhanizmy selevykh lednikovyykh katastrof: Kolka 2002. IMGRE, Moskva. 180 p.
12. Познанин В.Л., Геворкян С.Г. Элементы иерархии и формализация структурной сложности процессов криогенного растрескивания и термоэрозии // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. М.: ВИНТИ. 2000. № 3. С. 55–63.
Poznanin V.L., Gevorkyan S.G. (2000). Elementy ierarkhii i formalizatsiya strukturnoi slozhnosti protsessov kriogennogo rastreskivaniya i termoerozii. Problemy okruzhayushchei sredy i prirodnykh resursov. VINITI, Moskva. N 3. Pp. 55–63.
13. Проблемы классифицирования склоновых гравитационных процессов. М.: Наука, 1985. 204 с.
Problemy klassifitsirovaniya sklonovykh gravitatsionnykh protsessov. Nauka, Moskva. 1985. 204 p.
14. Прозоров Л.Л. Геоэкология: методологические основы. М.: ВНИИЗарубежгеология, 1997. 110 с.
Prozorov L.L. (1997). Geokologiya: metodologicheskie osnovy. VNIIZarubezhgeologiya, Moskva. 110 p.
15. Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы. М.: Недра, 1985. 332 с.
Teoreticheskie osnovy inzhenernoi geologii. Geologicheskie osnovy. Nedra, Moskva. 1985. 332 p.
16. Толстых Е.А. Классификация методов изучения гравитационных склоновых процессов // Проблемы классифицирования склоновых гравитационных процессов. М.: Наука, 1985. С. 174–190.
Tolstykh E.A. (1985). Klassifikatsiya metodov izucheniya gravitatsionnykh sklonovykh protsessov. Problemy klassifitsirovaniya sklonovykh gravitatsionnykh protsessov. Nauka, Moskva. Pp. 174–190.
17. Фролов В.Т. К вопросу о формах и уровнях организации геологических объектов // История и методология естественных наук. Вып. 33. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. С. 9–19.
Frolov V.T. (1987). K voprosu o formakh i urovnyakh organizatsii geologicheskikh ob"ektov. Istoriya i metodologiya estestvennykh nauk. Vyp. 33. Izd-vo Mosk. un-ta, Moskva. Pp. 9–19.
18. Экологический атлас России. М.: Изд-во МГУ, ЗАО «Карта», 2002.
Ekologicheskii atlas Rossii. Izd-vo MGU, ZAO «Karta», Moskva. 2002.