

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 551.345

ГЕОСИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В ГЕОКРИОЛОГИИ

А.Н. Хименков

*Институт геоэкологии имени Е.М. Сергеева РАН, 101000, Москва, Уланский пер., 13, стр. 2, Россия; cryo@geoenv.ru*

Разработана методология системного подхода в изучении многолетнемерзлых пород. Криолитозона представлена совокупностью иерархически организованных криогенных геосистем. Выработаны общие требования к практическому применению системного подхода.

*Криогенные геосистемы, литогенная подсистема, криогенная подсистема, иерархия, управляющие системы*

GEOSYSTEM APPROACH IN GEOCRYOLOGY

A.N. Khimenkov

*Sergeev Institute of Environmental Geoscience, RAS, 101000, Moscow, Ulan'sky per., 13, bidl. 2, Russia; cryo@geoenv.ru*

The methodology of systems concept used in permafrost science is substantiated. The cryolithozone is the assembly of hierarchic organized cryogenic systems. The common practical requirements to systems concept methods are considered.

*Cryogenic geosystem, lithogenic subsystem, cryogenic subsystem, hierarchy, control systems*

ВВЕДЕНИЕ

Геокриология с момента своего возникновения и по сегодняшний день во многом остается прикладной дисциплиной, успешно решая поставленные перед ней задачи, связанные с хозяйственным освоением северных территорий. В то же время некоторые базовые теоретические положения, связанные с рассмотрением структурной организации и динамики криолитозоны, разработаны недостаточно. Это все сильнее тормозит развитие самой геокриологии как науки. В настоящее время возникла острая необходимость осмысления направления, по которому она будет развиваться в XXI в. На наш взгляд, выход очевиден, он находится в том же русле, в котором развиваются несколько десятилетий практически все смежные науки (геология, ландшафтоведение, геоморфология, почвоведение и др.) и заключается в целенаправленном переходе к использованию системного подхода. В данных отраслях уже завершены этап теоретических и методических разработок и идет активное и широкое обсуждение результатов его практического применения. В геологии были проведены четыре Всероссийские научные конференции “Системный подход в геологии: теоретические и прикладные аспекты” (1983, 1986, 1989, 2009 гг.).

Кроме теоретических аспектов на них обсуждались вполне практические задачи, рассматривались проблемы использования системного подхода в геолого-геофизических и геохимических исследованиях. Подобные обсуждения проводятся и геоморфологами. Например, в октябре 2011 г. в Астрахани прошел XXXI пленум Геоморфологической комиссии РАН “Теоретические проблемы современной геоморфологии. Теория и практика изучения геоморфологических систем”. В почвоведении регулярно проводятся международные конференции по самовосстанавливающемуся земледелию на основе системного подхода. В ландшафтоведении в настоящее время все исследования ведутся с системных позиций [Мамай, 2006].

В отношении криолитозоны эта тематика на совещаниях и конференциях не поднимается, дискуссии не проводятся. Приходится констатировать, что геокриология уже в значительной мере исчерпала теоретический потенциал дальнейшего развития, заложенный ее основоположниками. Это состояние образно охарактеризовал В.П. Мельников в докладе “К созданию цельного образа Криосферы”: “Если оглянуться назад, то создается впечатление, что весь XX век мы, крио-

логи, танцевали один танец. Шаги меняли свое направление, были длиннее или короче, но оставались в целом такими, как их задумали конструкторы танца” [Мельников, 2010a]. Бесконечно это продолжаться не может, необходима разработка нового базиса для движения вперед. Это потребует определенных изменений взглядов на исследуемый объект, некоторой корректировки традиционных теоретических представлений и прежде всего перехода геокриологии на геосистемные позиции. Выдающийся советский физиолог П.К. Анохин в этой связи отмечает: “Мы не должны забывать, что последовательное приложение системного принципа к явлениям различного класса (организму, машинам, обществу) не является простой сменой терминологии, перестановкой лишь порядка исследований приемов. Системный подход к исследованию является прямым следствием перемены теоретического подхода к пониманию изучаемых объектов” [1973, с. 20]. По отношению к геокриологии это утверждение справедливо в полной мере. В настоящей работе рассматриваются некоторые теоретические вопросы, связанные с использованием геосистемного подхода в геокриологии, такие как выделение объекта исследования, структурная организация криолитозоны, особенности изучения криогенных геосистем, виды пространственно-временной изменчивости криогенных геосистем различных иерархических уровней.

### ГЕОСИСТЕМНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ В ГЕОКРИОЛОГИИ

Применительно к геокриологии понятие “системный подход” предложен П.Ф. Швецовым: “Развитие науки оказалось невозможным без комплексного системного подхода к изучению мерзлых горных пород...” [Геокриология..., 1988, с. 8]. В этом утверждении четко выделены объект исследования и предлагаемый подход. Первое определение мерзлой породы, данное М.И. Сумгиным, базировалось на температурном факторе: “В основание самого понятия вечной мерзлоты кладется температура почвы” [1934, с. 8]. С.Г. Пархоменко [1938] определяет мерзлые породы как криофильные горные породы, в состав которых входят лед и другие криофильные минералы. Это противоречие впоследствии было снято. “Мерзлыми почвами, породами, грунтами называются почвы, породы, грунты, коренными признаками которых являются: 1) нулевая или отрицательная температура; 2) наличие в них  $H_2O$  – льда, заключающегося в порах, трещинах и других полостях, свойственных почвам и горным породам” [Швецов, 1955, с. 11]. В этом случае объект мерзлотоведения, по общему выражению П.Ф. Швецова, “предстал во всей своей материальной первородности. Им ока-

зались мерзлые почвы и горные породы, мерзлые грунты и зоны мерзлых почв и горных пород – весьма сложные по составу, строению и свойствам физико-механические и физико-химические системы, развивающиеся в процессе тепло- и массообмена с окружающими их качественно иными системами” [Основы..., 1959, с. 11]. Здесь впервые мерзлые породы определяются как системы.

С 1980-х гг. понятие геосистема (система) в геокриологии стало общепотребимым, хотя четкого определения, принятого научным сообществом, так и не было разработано. В результате содержание данного понятия все время расширяется. Приведем некоторые примеры.

1. По уточненному определению П.Ф. Швецова, основным объектом геокриологии являются физико-геологические системы, включающие “интенсивно обменивающиеся теплом промерзающие, мерзлые, протаивающие и талые слои и толщи земной коры, обладающие криогенными особенностями состава, строения, сложения, а также морфогенеза (микро- и мезорельефа поверхности...)” [Геокриология..., 1988, с. 8]. Данное определение не содержит геологических и генетических признаков и не позволяет выявить целостность геосистем, их морфологию, структуру и внутренние связи, что не дает возможности продемонстрировать их иерархическую организацию. Утверждение автора, что объектом региональной геокриологии являются типы, классы, роды и виды геокриологических систем, не сопровождается выделением системообразующих признаков и не иллюстрируется соответствующей классификацией.

2. Согласно Э.Д. Ершову, “Изучение многолетнемерзлых пород можно разложить на ряд задач, связанных с изучением отдельных характеристик, таких как состав, строение, свойства, мощность, температурный режим и др. Каждая из геокриологических характеристик отражает определенное качество объекта и его связь с другими характеристиками (свойствами, проявлениями). В целом все характеристики природной среды образуют единый природный комплекс – геосистему” [2002, с. 33]. В утверждении, что соединение полученных частных характеристик есть система, по нашему мнению, содержится серьезная методологическая ошибка. Целое при своем становлении приобретает собственные и специфические принципы организации, не переводимые на принципы и свойства тех компонентов и процессов, из которых они формируются. Системы, и геосистемы в том числе, эмерджентны, т. е. обладают свойствами, которых нет у их составляющих в отдельности. При этом важным обстоятельством является то, что эмерджентность обычно проявляется только тогда, когда система начинает функционировать. Поэтому недостаточно просто знать те элементы, из которых состоит система, и связи меж-

ду элементами, необходимо понимать, как они, взаимодействуя между собой, функционируют как целое.

3. По А.И. Попову, “Мерзлые породы являются многофазными и многокомпонентными системами. По агрегатному состоянию в мерзлых породах следует выделить твердую, жидкую и газообразную составляющие. Твердая составляющая включает главным образом скелет мерзлых горных пород и лед” [1985, с. 11]. В этом случае системой называется общий состав, присущий любому объекту криолитозоны, без генетической, пространственной, структурной и морфологических характеристик.

4. Согласно В.И. Соломатину, “Под криогеосистемой подразумевается любая по масштабу, физическим свойствам, внутренней структуре естественно-исторически сложившийся комплекс криолитозоны, имеющий в своем составе временно, периодически или постоянно мерзлый субстрат... Важнейшими составляющими мерзлотных геосистем являются подземные льды и вмещающие их мерзлые породы, мерзлотный рельеф, деятельный слой, почвенно-растительный и снежный покровы, поверхностные и грунтовые воды...” [Геоэкология..., 1992, с. 8]. В данном определении утрачивается целостность объекта, поскольку механически объединяются разнородные объекты, например современные компоненты ландшафта (снег, обводненность, растительность и др.), с криогенной составляющей многолетнемерзлых пород (ММП), сформированной в других условиях.

5. По определению Д.С. Дроздова [2004], природные геосистемы (комплексы) криолитозоны – это саморегулируемые и самовосстанавливающиеся материальные системы взаимосвязанных элементов (горных пород, подземных и поверхностных вод, биоты) и компонентов (природных геосистем более низких рангов), между которыми происходит массо- и энергообмен под воздействием тех или иных ведущих факторов. Данный подход перенесен в геокриологию из ландшафтоведения и не отражает некоторых существенных свойств мерзлых пород. Например, в них энергообмен осуществляется в полной мере, а массообмен весьма затруднен, кроме того, в нем совершенно не отражена криогенная составляющая.

Приведенные примеры являются типичными и охватывают большинство вариантов применения понятия “геосистема” в геокриологии. В данных определениях отсутствуют важные критерии выделения геосистем как целостных, локализованных в пространстве природных объектов с присутствием им границами, внутренним строением, связями между отдельными элементами, свойствами, иерархической организацией, историей и др. Геосистемный подход в том виде, в каком он используется в настоящее время, является непол-

ным и внутренне противоречивым. Это осложняет его применение в теоретических построениях, ограничивает использование в практике геокриологических исследований.

### ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ВЫДЕЛЕНИЯ КРИОГЕННЫХ ГЕОСИСТЕМ

Всю совокупность факторов, определяющих формирование мерзлых пород, можно условно разделить на две группы: определяющие структуру и свойства вещества, включенного в зону криогенеза, и определяющие теплообменные процессы фазового перехода воды в лед. Основная трудность дифференциации криолитозоны состоит в выделении, группировке и ранжировании этих факторов. Задача упрощается, если исходить из того, что мы имеем дело с целостными сформировавшимися объектами, сохраняющими структуру и морфологию на всем протяжении своего существования. При этом закономерности строения, морфологии и пространственного распределения обуславливаются литогенной историей, т. е. их генезисом и последующим преобразованием. Закономерности распределения ледяных элементов определяются криогенной историей, проявляющейся в последовательной смене комплексов парагенетических криогенных процессов, обусловленной геологическим строением и особенностями тепло- и массообмена. Таким образом, взаимодействие двух отмеченных групп факторов реализуется в виде формирования мерзлой породы. В соответствии с этим подходом в качестве объекта геокриологии выделяется криогенная геосистема – геологическое образование, соответствующее определенному уровню структурной организации геологической среды (геологическое тело, совокупность геологических тел) вместе с соответствующей ему совокупностью ледяных включений (криогенное строение), распределение, морфология и строение которых отражают историю перехода геологического объекта из немерзлого состояния в мерзлое [Хименков, 2006; Хименков и др., 2009]. В определение не включен температурный показатель, поскольку одним из основных элементов криогенной геосистемы является лед, что уже отражает условия ее существования.

#### Общая структурная организация криогенных геосистем

Формирование и функционирование криогенных геосистем определяется взаимодействием многих факторов, что обуславливает сложность их структурной организации, выражающейся в сосуществовании двух подсистем: литогенной, включающей геологическое тело или совокупность иерархически организованных геологических тел, и криогенной, включающей ледяные элементы,

распределение, морфология и структура которых отражает историю перехода геологического тела из немерзлого состояния в мерзлое.

### Литогенная подсистема

Литогенная составляющая является основой криогенных геосистем, “поскольку все криогенные явления и процессы представляют собой наложенные или сопутствующие литогенным” [Пасанов, 1981, с. 25].

Именно литогенная основа является системообразующим фактором, который через закономерные изменения вещественного состава определяет особенности процессов криогенеза и в конечном счете пространственное распределение и морфологию ледяных элементов. Выбор литогенной составляющей в качестве базового структурного элемента позволяет выделять границы криогенных геосистем различных иерархических уровней.

Общая последовательность операций по разделению геосистем включает несколько функциональных этапов. Геосистема более высокого уровня разбивается на множество элементов (элементарных областей дискретизации геологической среды). К настоящему времени, благодаря работам Ю.А. Косыгина, Г.К. Бондарика, И.В. Попова, Е.А. Куражковской, В.А. Кулындышева и других, ранжирование геосистем уже хорошо разработано. Последовательность разбиения зависит от принятых гипотез о строении геологической среды и об ее взаимодействии с другими средами и полями. Наиболее показательными являются по-

следовательное разделение геологической среды на все более однородные части и их характеристика. Иерархический уровень изучаемых геосистем зависит от масштаба исследований. По мере перехода от таксонов низкого ранга к таксонам более высокого ранга проводится типизация частных показателей в виде обобщенных характеристик с указанием средних значений и диапазона их изменений (см. таблицу). Таким образом, описание криогенной геосистемы представляет собой модель, в которой некоторому устойчивому блоку – литогенной основе – соответствуют параметры криогенных элементов. На каждом структурном уровне характер взаимосвязи между криогенными параметрами и литогенной основой для однотипных систем будет сходен [Хименков и др., 2009; Мельников, 2010б].

### Криогенная подсистема

Криогенная подсистема представлена ледяными включениями или целиком состоит из льда. Морфология и строение криогенной подсистемы содержит информацию о состоянии литогенной основы к моменту промерзания, а также о совокупности и стадийности процессов, связанных с льдообразованием. Формирование криогенного строения обуславливается следующими факторами: составом породы отдельных геологических тел, чередованием пород, преобразованием породы (диагенез, метаморфизм, выветривание, деформации), криогенной историей (темпы промерзания, неоднородности температурного поля, чередование комплексов парагенетических про-

### Уровни организации криогенных геосистем

Иерархический уровень криогенных геосистем	Структурные характеристики подсистем	
	Параметры литогенных подсистем	Параметры криогенных подсистем
Глобальный (криолитозона)	Вся совокупность мерзлых, охлажденных и морозных пород литосферы	Выделение общих параметров (положение верхней и нижней границ, мощность) и тенденций их изменения
Региональный (геоструктура)	Формации (парагенетические комплексы пород в пределах геоструктуры)	Выделение усредненных характеристик распределения, морфологии ледяных элементов для различных генетических типов в пределах геоструктур. Выделение общих параметров (положение верхней и нижней границ, мощность, сплошность)
Территориальный (неоднородности внутри геоструктуры)	Субформация (парагенетические комплексы пород в пределах территориальных неоднородностей геоструктуры)	Выделение усредненных характеристик распределения, морфологии ледяных элементов для различных генетических типов в пределах территориальных неоднородностей геоструктур. Выделение общих параметров (положение верхней и нижней границ, мощность, сплошность)
Генетический тип	Совокупность фаций одного генетического типа	Выделение типичных характеристик в распределении, морфологии и структуре ледяных элементов для различных фаций генетического типа
Геологическая фация	Фация (монопородное геологическое тело)	Характеристика структуры и морфологии отдельных кристаллов льда, совокупности кристаллов в ледяных образованиях; характеристика морфологии и структуры распределения ледяных образований (криогенных текстур) в пределах фации

цессов). Если учесть, что формирование криогенной подсистемы обусловлено поэтапным переходом грунтового массива через состояния термодинамической неустойчивости, связанной с фазовыми переходами, то должно было бы наблюдаться большое разнообразие типов криогенных образований. Однако это не так, в природе отмечается небольшое количество видов криогенных текстур: массивная, слоистая, сетчатая и массивы мономинерального льда. Небольшое разнообразие видов распределения ледяных элементов при большом количестве воздействующих факторов обуславливается ограничениями, налагаемыми составом и состоянием породы, количеством и составом внутригрунтовых вод и динамикой тепловых потоков в зоне льдообразования. Именно эти факторы определяют литогенную и криогенную историю криогенной геосистемы. При всей обусловленности видов строения криогенных геосистем наблюдается значительный внутривидовой разброс параметров их строения, связанный с наличием многочисленных неоднородностей природной среды. Эти неоднородности криогенного строения являются источником важной информации о криогенной истории рассматриваемого объекта. Сформировавшись, криогенная подсистема сохраняется практически неизменной на протяжении всего жизненного цикла криогенной системы, обеспечивая ее идентичность, пространственные связи и устойчивость.

Криогенная подсистема формирует структурные уровни, проявляющиеся на низших уровнях организации криогенных геосистем (фации и генетические типы). Основой этой иерархии являются различные сочетания кристаллов льда.

*1-й уровень – криотекстурный.* Он соответствует особенностям распределения ледяных элементов, их морфологии в криогенных системах уровня фаций; фиксируется и учитывается в геосистемах уровня генетических типов.

*2-й уровень – криоструктурный.* Он соответствует строению и морфологии кристаллов отдельных ледяных образований, составляющих текстуру криогенных геосистем; фиксируется и учитывается в системах уровня фаций.

*3-й уровень – единичный кристалл льда* (в виде самостоятельного образования или структурного элемента ледяного образования). Кристалл льда является первичным базовым элементом криолитозоны. Он присутствует (хотя бы потенциально) во всем пространстве криолитозоны и обеспечивает единство свойств и строения всех криогенных образований в ней; фиксируется и учитывается в системах уровня фаций. Характеристики криогенных подсистем меняются в зависимости от уровня организации криогенных геосистем (см. таблицу).

### Структурные уровни криогенных геосистем

В определении криогенной геосистемы заложено представление о структурном уровне, что предполагает иерархическую организацию данных образований [Хименков, 2006]. Кратко охарактеризуем соподчиненность различных криогенных геосистем.

Морфология, литологические и структурно-текстурные особенности залегания геологического тела обусловлены его литогенной историей, а распределение и строение льда отражает этап криогенной истории. Для любой системы жесткость связей между отдельными компонентами является первоочередной в ряду критериев ее выделения. О каких связях может идти речь в случае криогенных геосистем?

Во-первых, закономерное распределение вещества в геологическом теле или распределение геологических тел в генетическом типе. Эти связи определяются конкретными параметрами природных факторов, обеспечивающих формирование и преобразование различных генетических типов пород.

Во-вторых, зависимость распределения ледяных элементов и их строения от вещественного состава и свойств литогенной составляющей. Эта зависимость характеризуется тем, что льдообразование и связанные с ним процессы (миграция связанной воды, криогенное отжатие свободной воды и возникновение криогенных напоров, криогенная сепарация грунтовых вод, криогенное уплотнение грунтов и др.) во многом определяются параметрами и структурой литогенной составляющей (гранулометрический и минералогический состав, плотность, монолитность, минерализация, влажность, содержание органики, трещиноватость, слоистость и др.).

В-третьих, устойчивость структуры криогенных геосистем при изменении внешней среды. С момента возникновения и на всем протяжении своего существования криогенные геосистемы подвергаются значительным температурным колебаниям, которые не выходят за границы значений, необходимых для протекания фазовых переходов. Это обеспечивает постоянство строения и внутренних связей криогенных геосистем.

Закономерно возникает вопрос, для чего нужен системный подход в геокриологии? Что нового он может дать по сравнению с преобладающим в настоящее время аналитическим подходом? Перечислим ряд проблем, которые, по мнению автора, могут быть решены только в рамках геосистемного подхода.

1. Требуется доработка представлений о формировании и динамике криогенных геосистем на уровне генетического типа, территорий и гео-

структур при воздействии различных природных факторов (климат, тектоника, колебания уровня Мирового океана).

2. Необходимо дополнить метод мерзлотно-фациального анализа, предложенного Е.М. Катаоновым [1962], путем разработки положений, учитывающих последовательную смену процессов льдообразования при формировании эпигенетических ММП.

3. В геокриологии принято выделять особую генетическую группу “инъекционных льдов”, связанную с внедрением свободной воды в мерзлую породу. При всей важности инъекций следует учитывать, что это лишь один из элементов в группе напорных процессов, связанных с формированием мерзлых пород (вертикальное и горизонтальное перераспределение грунтовых вод, гидроразрыв промерзающих пород, инъекции, пластическое течение водонасыщенных грунтовых масс, течение мерзлых грунтов и льдов). Необходимо разработка классификации напорных процессов, определение условий их реализации, выделение соответствующих им криогенных образований.

4. Зона фазовых переходов была выделена М.И. Сумгиным [1934] как “нулевая завеса” еще в начальный период развития геокриологии. Позднее Н.А. Цытович дал ее общую характеристику, выделив три основных структурных элемента: область значительных фазовых превращений, переходную область, область практически замерзшего состояния [Цытович, 1973]. В дальнейшем, несмотря на то что зона фазовых переходов играет важную роль в формировании и разрушении мерзлых пород, в ее изучении было сделано очень мало. Недостаточно материалов о комплексе парагенетических процессов, происходящих в ней, мало данных о ее морфологии, структуре, размерах, темпах перемещения границ для разных типов грунтов и различных значений интенсивности теплообмена. При том, что область фазовых переходов подвижна, она содержит все признаки геосистемы, такие как границы, структурные связи, общие закономерности строения. Поэтому ее изучение наиболее перспективно при использовании геосистемного подхода.

5. Необходимо дальнейшее совершенствование теории функционирования управляющих геосистем, перекрывающих ММП. Данные многокомпонентные геосистемы включают снежный покров, поверхностные водоемы, растительный покров, слой сезонного промерзания–оттаивания и переходный слой в верхней части ММП [Гречихин, 1980]. Благодаря синергетическим эффектам, в них формируются прямые и обратные связи, ослабляющие или усиливающие теплообмен между ММП и атмосферой. Разнообразие поверхностных условий определяет соответствующее

разнообразие структуры и свойств управляющих систем. Это, в свою очередь, обуславливает неоднозначную реакцию различных участков криолитозоны на внешние воздействия. Кстат, эти эффекты не учитываются ни в одном сценарии развития криолитозоны при глобальных изменениях климата. Поверхностным системам присуща иерархичность, которая определяется геосистемной организацией ландшафтной оболочки Земли. Одной из особенностей поверхностных систем является большая неоднородность их распределения, при оценке которой потребуются разработка математического аппарата с применением вероятностных параметров [Хименков, Власов, 2007].

### Динамика криогенных геосистем

Важным разделом учения о геосистемах, и в частности о криогенных геосистемах, является изучение динамики их как целостных природных образований. Это имеет большое теоретическое и практическое значение, поскольку аналитический подход ориентирован на фиксацию изменений отдельных разрозненных показателей среды и не отражает изменение изучаемого объекта в целом.

В зависимости от рассматриваемого показателя следует выделять несколько видов динамики криогенных геосистем:

- динамика формирования (разрушения), когда фиксируются структурные и морфологические изменения, связанные с формированием или разрушением (частичным или полным) криогенных геосистем;

- динамика изменения температурного поля, когда фиксируется пространственная морфология температурного поля криогенных геосистем (криогенные геосистемы сохраняют при этом устойчивое положение и первичные границы, но температуры и свойства отдельных участков могут изменяться в широких диапазонах);

- динамика рекомбинации (фиксируются структурные изменения криогенных подсистем в пределах сложных территориальных геосистем). Изменения климата, тектонического режима и других приводят к изменению экзогенных процессов и соответствующему изменению соотношения в распределении криогенных подсистем в пределах более крупной системы;

- динамика замещения, связанная с направленной сменой криогенных геосистем определенного генетического типа, системами иного генезиса (фиксируется соотношение вновь сформировавшихся систем). В качестве примера можно привести направленное разрушение морских равнин севера Ямала или едомы севера Якутии экзогенными процессами с последующим формированием на их месте комплекса вторичных криогенных геосистем различного генезиса.

### Гетерохронность развития криогенных геосистем

Использование системного подхода связано с обязательным учетом структурности времени. Во-первых, для каждого уровня организации на порядок различается время жизненного цикла. Во-вторых, многочисленность и стадийность комплексов процессов, наличие прямых и обратных связей обуславливает неоднородность времени. Один и тот же отрезок времени даже для близких по генезису систем может иметь разное наполнение. В-третьих, возможна разнонаправленность развития во времени различных частей геосистем. На одних участках криогенная составляющая может стабилизироваться, а на других продолжает формироваться, при этом некоторые части в области криогенеза могут быть вовлечены позднее или вообще не вовлечены. Следует помнить, что единые в настоящее время мерзлые толщи представляют собой разновозрастные образования. История многолетнемерзлых толщ любого генезиса является историей развития и взаимодействия отдельных разновозрастных и часто полигенетичных криогенных геосистем, их формирования, встраивания в совокупность других, трансформации и разрушения. Эта история двойственна, с одной стороны, она, несомненно, отражает глобальные или территориальные изменения природной среды, с другой – значительную автономность происходящих событий на локальном уровне.

Весьма продуктивными при рассмотрении формирования криогенных геосистем различного иерархического уровня могут оказаться идеи о темпоральности природных процессов, впервые предложенные Я.И. Иксюлем и Д.Д. Фрейзером. Темпомир – это автономный фрагмент мира со своим внутренним временем, идущим независимо от остальных частей мира – других темпомиров, по причине ограниченности или отсутствия взаимодействия с ними. В разных темпомирах темпы времени могут радикально различаться. По Д.Д. Фрейзеру, каждый структурный уровень организации материи обнаруживает собственную темпоральность, и иерархии уровней организации материи соответствует иерархия связанных с ними темпоральностей. Понятие темпомира неразрывно связано с иерархической организацией систем. Объекты одного системного уровня соизмеримы по масштабу и взаимосвязаны единым комплексом причинно-следственных отношений на макроуровне. Поэтому они подчинены соизмеримому темпу изменений и образуют единый темпомир [Fraser, 1982].

Практически любая рассматриваемая территория криолитозоны представляет собой совокупность локальных участков, внутренний распорядок которых определяется своим темпом и структурой причинно-следственных пространственных

взаимодействий на уровне горизонтальных связей; внешний распорядок определяется иерархией масштабов “микро, макро, мега” на уровне вертикальных связей. В результате возникает множество локальных криогенных геосистем, обуславливая своего рода мозаичность, которая не является статичной, а последовательно эволюционирует. Происходит общее закономерное и направленное постепенное изменение параметров геосистем: температуры, сплошности, криогенного строения, внешних границ и др.

При направленном формировании локальные геосистемы объединяются, формируя криогенные геосистемы более высокого уровня, становясь для нее подсистемами. При тепловом разрушении в криогенных геосистемах нарастает локальная дифференциация температур в пределах отрицательных значений, затем уменьшается сплошность. В последующем геосистема распадается на фрагменты. Таким образом, развитие геосистемного подхода невозможно без учета различий в темпах происходящих событий даже на близко-расположенных участках. Здесь же остро встает проблема гетерохронности. Различные участки криогенных геосистем могут формироваться в разное время. И чем выше ранг рассматриваемой геосистемы, тем гетерохронность и гетерогенность отдельных частей будет больше. В геокриологии изучение гетерохронности и гетерогенности ледяных образований успешно осуществляет Ю.К. Васильчук. Используя анализ изотопного состава повторно-жильного льда, пластовых льдов бугров пучины, ему удалось доказать разновременность и гетерогенность формирования различных структурных элементов криогенных геосистем уровня фаций и генетических типов [Васильчук, 2006, 2008, 2012].

### Некоторые методические требования к исследованиям криогенных геосистем

Вольное обращение с понятием “геосистема” весьма распространено. Часто этот термин применяют и для обозначения любого природного объекта исследования, и для территориальной привязки без генетической или ландшафтной приуроченности. Такое использование понятия “геосистема” дискредитирует саму суть геосистемного подхода и позволяет трактовать его как термин свободного пользования, не несущий никакого конкретного содержания. Общие принципы проведения исследований в рамках геосистемного подхода четко изложены П.К. Анохиным: “наиболее характерной чертой системного подхода является то, что в исследовательской работе не может быть аналитического изучения какого-то частичного объекта без точной идентификации этого частного в большой системе. Таким образом, со стратегической и практической точек зрения ис-

следователь должен иметь прежде всего конкретную концепцию системы, которая должна удовлетворять основным требованиям самого понятия системы, и лишь после этого формулировать тот пункт системы, который подлежит конкретному исследованию" [1973, с. 20].

Каждую криогенную геосистему, какой бы сложной она не была, можно рассматривать как совокупность нескольких более простых подсистем. Выделив и охарактеризовав строение подсистем и их взаимодействие, можно понять последовательность процессов, сформировавших изучаемую систему (мерзлую фацию, ледяную жилу, мерзлую толщу, тектоническую структуру с залегающими в ее пределах многолетнемерзлыми породами или территорию с распределенными на ней полигенетическими комплексами). При этом главное – правильно выделить предмет изучения, охарактеризовать свойства, выявить внутренние и внешние связи, определить пространственно-временные особенности развития.

К частным, прикладным требованиям проведения исследований криогенных геосистем следует отнести следующие:

- выявление элементов, составляющих данную систему;
- выяснение внутренних связей и зависимостей между элементами данной системы, что позволяет получить представление о внутренней организации (строении) исследуемой системы;
- определение морфологии рассматриваемой системы и внешних границ системы;
- выявление иерархического уровня системы (в какую систему она входит в качестве подсистемы и какие подсистемы ее составляют);
- выяснение условий, необходимых для формирования и функционирования системы (литогенной и криогенной подсистем);
- выявление внешних связей системы с окружающей средой;
- определение этапов ее формирования, ее современное состояние, а также возможные перспективы развития.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Уже в 80-х гг. прошлого века утвердилось понимание того, что выделение и разграничение разнообразных геокриологических систем различного ранга является одной из важных задач геокриологии [Геокриология..., 1988]. В этом направлении были предприняты значительные усилия, но проблема еще далека от своего разрешения. Основным препятствием при разработке системного подхода в геокриологии является отсутствие четких критериев выделения целостных объектов, комбинации которых формировали бы различные структурные уровни криолитозоны. Предложен-

ный в работе принцип выделения систем на базе объединения литогенной и криогенной составляющих позволяет выделить в качестве основы закономерно построенное естественно-историческое образование – криогенную геосистему. Низшие уровни организации систем отражают локальные особенности литогенеза и криогенной истории. На более высоких уровнях объединены территориальные факторы, зональные различия климата и особенности криогенеза разных геологических образований. Криолитозона в этом случае представляет собой совокупность самоорганизующихся иерархически организованных криогенных систем, состоящих из множества локальных подсистем. Предложенный подход позволяет выявить особенности изменения систем различной структурной организации. Криогенные геосистемы уровня фации и генетического типа после формирования сохраняют внутреннюю структуру на протяжении всего периода существования. Эволюцию сложных территориальных криогенных геосистем (вплоть до криолитозоны в целом) можно представить как рекомбинацию составляющих их подсистем. Обладая различной степенью устойчивости к внешним воздействиям, данные подсистемы под воздействием внешних изменений начинают трансформироваться и перегруппировываться путем частичного разрушения одних и возникновения других, переходя в состояние равновесия с новыми условиями.

### Литература

- Анохин П.К.** Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем // Принципы системной организации функций. М., Наука, 1973, с. 5–61.
- Васильчук Ю.К.** Повторно-жильные льды: гетероцикличность, гетерохронность, гетерогенность / Ю.К. Васильчук. М., Изд-во Моск. ун-та, 2006, 404 с.
- Васильчук Ю.К.** Выпуклые бугры пучения многолетнемерзлых торфяных массивов / Ю.К. Васильчук, А.К. Васильчук, Н.А. Буданцева, Ю.Н. Чижова. М., Изд-во Моск. ун-та, 2008, 571 с.
- Васильчук Ю.К.** Изотопные методы в географии. Ч. 2. Геохимия стабильных изотопов ледовых пластов / Ю.К. Васильчук. М., Изд-во Моск. ун-та, 2012, т. 1, 472 с.
- Гасанов Ш.Ш.** Криолитологический анализ / Ш.Ш. Гасанов. М., Наука, 1981, 196 с.
- Геокриология СССР.** Европейская территория СССР. М., Недра, 1988, 358 с.
- Геоэкология Севера.** М., Изд-во Моск. ун-та, 1992, 270 с.
- Гречищев С.Е.** Криогенные физико-геологические процессы и их прогноз / С.Е. Гречищев, Л.В. Чистотин, Ю.Л. Шур. М., Недра, 1980, 383 с.
- Дроздов Д.С.** Информационно-картографическое моделирование природно-техногенных сред в геокриологии: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Тюмень, 2004, 49 с.
- Ершов Э.Д.** Общая геокриология: учебник / Э.Д. Ершов. М., Изд-во Моск. ун-та, 2002, 682 с.



**Катасонов Е.М.** Криогенные текстуры, ледяные и земляные жилы как генетические признаки многолетнемерзлых четвертичных отложений // Вопросы криологии при изучении четвертичных отложений. М., Изд-во АН СССР, 1962, с. 37–44.

**Мамай И.И.** Проблемы ландшафтной методологии // Ландшафтоведение. Теория, методы, региональные исследования, практика: Материалы XI Междунар. ландшафтной конф. М., МГУ, 2006, с. 17–21.

**Мельников В.П.** К созданию цельного образа Криосферы / УрО РАН: [сайт]. URL: <http://www.uran.ru/ru/scnews/tmns.20.08.2010a> (дата обращения: 31.04. 2012).

**Мельников В.П.** Криогенные геосистемы: проблемы исследования и моделирования / В.П. Мельников, А.Н. Хименков, А.В. Брушков и др. Новосибирск, Акад. изд-во “Гео”, 2010б, 390 с.

**Основы геокриологии (мерзлотоведения).** Ч. I. Общая гео-криология. М., Изд-во АН СССР, 1959, 457 с.

**Пархоменко С.Г.** Мерзлотоведение как учение о криофильных горных породах // Тр. Комис. по изучению вечной мерзлоты. М.; Л., Изд-во АН СССР, 1938, т. 6, с. 177–194.

**Попов А.И.** Криолитология / А.И. Попов, Г.Э. Розенбаум, Н.В. Тумель. М., Изд-во Моск. ун-та, 1985, 239 с.

**Сумгин М.И.** Вечная мерзлота / М.И. Сумгин. Л., Изд-во АН СССР, 1934, 82 с.

**Хименков А.Н.** Введение в структурную криологию / А.Н. Хименков, А.В. Брушков. М., Наука, 2006, 279 с.

**Хименков А.Н., Брушков А.В., Власов А.Н., Волков-Богородский Д.Б.** Очерки вероятностной гео-криологии // Реф. журн. Т. 8. Геология, мерзлотоведение. М., ВИНТИ, 2009, с. 40–41.

**Хименков А.Н., Власов А.Н.** Влияние неоднородностей природной среды на динамику криолитозоны // Криосфера Земли, 2007, т. XI, № 1, с. 21–28.

**Цытович Н.А.** Механика мерзлых грунтов / Н.А. Цытович. М., Высш. шк., 1973, 448 с.

**Швецов П.Ф.** Материалы к основам учения о мерзлых зонах земной коры. Вводные главы к основам гео-криологии / П.Ф. Швецов. М., Изд-во АН СССР, 1955, 110 с.

**Fraser J.T.** The Genesis and the Evolution of Time / J.T. Fraser. Brighton, Harvester Press, 1982, 205 p.

*Поступила в редакцию  
31 мая 2012 г.*