

Т.И. Кузнецова¹

МЕТОДОЛОГИЯ КОНСТРУКТИВНОГО ПОДХОДА В ГЕОИНФОРМАЦИОННОМ КАРТОГРАФИРОВАНИИ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

АННОТАЦИЯ

Предложена методология конструктивного подхода в картографировании географической среды Байкальского региона, основанная на современных представлениях о пространственно-функциональной организации геосистем. Район исследования и мелкомасштабного картографирования представляет собой трансграничную территорию, расположенную на стыке четырех физико-географических областей Евразийского континента, различающихся по своим природным условиям, факторам и процессам развития. Природные структуры рассматриваются как географические пространства, где все компоненты природы тесно взаимосвязаны друг с другом и, как определенная целостность, взаимодействуют с человеческим обществом. Это концептуально определило схему физико-географического исследования как процедуры подготовки фундаментальных научных знаний о природе для решения целевых экологических проблем. Рассмотрены методы создания пространственной и тематической структуры картографической информации, которые обеспечивают представление об объекте, процедурах его исследования и отвечают запросам быстроты обработки, распространения этой информации с использованием ГИС-технологий. Обсуждается логико-методологическая последовательность исследования, конструктивные критерии, единые для всего исследовательского процесса. Понятие «организация геосистем» рассматривается в трех смыслах: как состояние структурной и пространственно-иерархической упорядоченности геосистем в конкретный промежуток времени, как процесс упорядочения природных образований в результате спонтанного развития (самоорганизации) и как упорядочивание в результате целевого внешнего воздействия (управление). Параметры геосистем используются в качестве информационной основы для создания оценочных, прогнозных, рекомендательных карт природной среды. Методы были применены при разработке картографического модуля «Географическая среда» для электронного атласа «Байкальский регион: общество и природа». Демонстрируется фрагмент карты «Геоэкологические структуры Байкальского региона».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Байкальский регион, геоэкологическое картографирование, конструктивные критерии, геосистемы, структурно-функциональная организация, классификация

¹ Институт географии имени В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, 664033, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, *e-mail*: kuznetzovad@yandex.ru

Tatiana I. Kuznetsova¹

METHODOLOGY OF CONSTRUCTIVE APPROACH IN GEOINFORMATION MAPPING OF GEOGRAPHICAL ENVIRONMENT

ABSTRACT

The methodology of a constructive approach to mapping the geographical environment of the Baikal region is proposed, based on modern ideas about the spatial and functional organization of geosystems. The area of research and small-scale mapping is a cross-border territory located at the junction of four physical and geographical regions of the Eurasian continent, differing in their natural conditions, factors and development processes. Natural structures are considered as geographical spaces where all the components of nature are closely interconnected with each other and, as a certain integrity, interact with human society. This conceptually defined the structure of physical and geographical research as a procedure for preparing fundamental scientific knowledge about nature to solve targeted environmental problems. The methods of creating a spatial and thematic structure of cartographic information are considered, which provide an idea of the object, its research procedures, and meet the requirements for the speed of processing, dissemination of this information using GIS technologies. The logical and methodological sequence of the research, constructive criteria that are uniform for the entire research process are discussed. The concept of “organization of geosystems” is considered in three senses: as a state of structural and spatial-hierarchical ordering of geosystems in a specific period of time, as a process of ordering natural formations as a result of spontaneous development (self-organization) and as ordering as a result of targeted external influence (management). The parameters of geosystems are used as an information basis for creating estimated, forecast, recommendation maps of the natural environment. The methods were applied in the development of the “Geographical environment” cartographic module for the “Baikal region: society and nature” electronic atlas. A fragment of the “Geoecological structures of the Baikal region” map is demonstrated.

KEYWORDS: Baikal region, geoecological mapping, design criteria, geosystems, structural and functional organization, classification

ВВЕДЕНИЕ

Научная концепция «конструктивной географии» была сформулирована академиком И.П. Герасимовым в период, когда парадигма географической среды, представленная в многочисленных работах ученых XIX – XX вв., в условиях активного воздействия человека на природу стала сменяться парадигмой экологического риска и экологии выживания человека [Герасимов, 1981]. Основные этапы развития конструктивной географии рассмотрены в публикации [Собисевич, Снытко, 2019].

Вопросы методологии конструктивного подхода как процедуры научной подготовки физико-географической информации о природном географическом объекте для решения целевых задач рассмотрены в работах [Исаченко, 1981; Михеев, 1987; Экологическое..., 1996; Черкашин..., 2005]. Геосистемная концепция и представление о структурно-функциональных основах пространственно-временной организации природных структур позволили по-новому сформулировать объекты исследования конструктивной географии, обозначить их содержание, отличное от такового частных географических дисциплин. Эта концепция породила новую точку роста геоэкологии, обеспечив переход от оценочного функционального этапа конструктивных исследований географической среды к прогнозному и прогнознорекомендательному этапам.

¹ V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS. 664033 Irkutsk, Ulan-Batorskaya st 1, Russia, e-mail: kuznetzovad@yandex.ru

По типизации решаемых экологических задач и с учетом используемых методических приемов конструктивное картографирование географической среды подразделяется на три основные разновидности: собственно экологическое, суперпозиционно-факторное и полигеосистемное [Экологическое..., 1996]. Экологическое картографирование основывается на экогеосистемной концепции, которая реализуется через представление об экологических свойствах, экологическом состоянии, экологических функциях, экологической устойчивости геосистем. Основанием для разработки экологических карт является структурно-динамическая карта геосистем.

Суперпозиционно-факторное геоэкологическое картографирование опирается на результаты анализа многочисленных статистических данных, определение связей между наблюдаемыми переменными величинами, характеризующими геосистему, посредством создания и исследования структуры корреляционных матриц [Бешенцев, 2011; Фролов, 2011; Владимиров, 2018]. Данный вид анализа позволяет описать предмет изучения компактно и в то же время всесторонне, с его помощью возможно выявление факторов, отвечающих за наличие линейных статистических связей и корреляций между наблюдаемыми переменными. Этот подход обеспечивает потенциальную возможность постановки задач геоэкологического картографирования как поиска новых явлений и закономерностей.

В полигеосистемном геоэкологическом картографировании геосистема рассматривается как система взаимодействующих сред, эмерджентные свойства которой определяются через ландшафтно- и антропологические структуры взаимосвязанных и взаимообусловленных сложных состояний геосистем, отражающих результат такого взаимодействия. Этот подход позволяет осуществлять комплексное многоаспектное исследование пространственно-функциональной организации геосистем посредством создания сопряженных интерпретационных геоэкологических карт, отражающих расчленение природных систем разных уровней сложности и структурной организации по типам связей и взаимодействий составляющих структур (рис. 1). Концепция полисистемности обеспечивает изучение трех взаимосвязанных экологических аспектов географической среды – экологию ландшафта, экологию существования человека как биологического вида и экологию активной жизнедеятельности человека как аналитические ступени единого физико-географического исследования природы, имеющего фундаментальное и прикладное содержание [Кузнецова, Бардаш, 2014].



Рис. 1. Пространственно-функциональное определение геоэкологических структур
Fig. 1. Spatial and functional definition of geoecological structures

В данном исследовании конструктивный полисистемный подход используется для разработки блока карт «Географическая среда» тематического модуля «Экологическое состояние и трансформация природной среды» атласа «Байкальский регион: общество и природа» [Атлас..., 2021, с. 59–61] масштаба 1:5 000 000. Район исследования и обзорного картографирования представляет собой трансграничную территорию, расположенную на стыке четырех физико-географических областей [Сочава, Тимофеев, 1968]: Среднесибирской таежно-плоскогорной, Южно-Сибирской горной, Байкало-Джугджурской горно-таежной, Северо-Монгольской полупустынно-степной, различающихся по своим природным условиям, факторам и процессам развития. В административном плане эта территория принадлежит двум суверенным государствам: Российской Федерации (в пределах Иркутской области, Республики Бурятия, Забайкальского края) и Монголии (в границах аймаков, расположенных в бассейне реки Селенги).

В настоящее время в геоинформационном картографировании природы и общества разработаны фундаментальные методологии [Berry, 1987; Lechthaler, 2010], и существует большое количество размещенных в сети Интернет электронных атласов, в том числе на территорию Байкальского региона [Экологический Атлас..., 2015¹; Экологический Атлас..., 2017²]. Наряду с этим система методов и средств мелкомасштабного геоэкологического картографирования геосистем регионального иерархического ранга требует дальнейшего совершенствования. Наибольшее значение представляют методы, обеспечивающие отображение свойств региональных геосистем как комплекса условий существования и активной жизнедеятельности человека в сопоставлении с антропогенным воздействием и географическим прогнозом возможных изменений этих условий. Для современного конструктивного подхода исследования географической среды актуально дальнейшее развитие и совершенствование картографических методов, способных обеспечить создание тематической и пространственной структуры картографической информации, которая бы давала универсальное представление о системном строении геосферы, процедурах ее исследования и одновременно отвечала запросам обработки и распространения этой информации средствами ГИС-технологий. В этой связи задачами исследования являются:

1 – разработка логико-методологической последовательности процедуры создания карт географической среды Байкальского региона масштаба 1:5 000 000 с использованием современных представлений о геосистемах и структурно-функциональных основах их пространственно-временной организации;

2 – разработка геосистемных признаков-индикаторов условий и состояния географической среды исследуемой территории, прогнозирования возможных ее изменений, геоэкологического нормирования использования ее ресурсов, разработки необходимых природоохранных мероприятий;

3 – разработка и реализация методов создания серии карт комплексной картографической системы (КИС) географической среды Байкальского региона геосистемного геоэкологического содержания с учетом региональных особенностей территории, использования ГИС-технологий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Конструктивная методология мелкомасштабного геоинформационного картографирования представляет собой единую систему подходов, методов, средств создания единой КИС географической среды Байкальского региона геосистемного геоэкологического содержания (табл. 1). Совокупность используемых приемов картографирования геосистем обеспечивает пространственную, тематическую согласованность географической информации посредством: 1 – усовершенствованной в соответствии

¹ Экологический атлас бассейна оз. Байкал. Электронный ресурс: http://bic.iwlearn.org/ru/atlas/atlas_ (дата обращения 03.07.2022).

² Экологический атлас Байкальского региона. Электронный ресурс: <http://www.rgo.ru/ru/irkutskoe-oblastnoe-otdelenie/proekty/karty> (дата обращения 03.07.2022).

масштабу, целям исследования полисистемной геоэкологической научной концепции комплексирования географической информации; 2 – единого пространства исследования; 3 – единого масштаба картографирования; 4 – единой системы специализированных классификаций геосистем регионального иерархического ранга, разработанных с использованием общенаучной классификации геосистем академика В.Б. Сочавы; 5 – единой разработанной информационно-инвентаризационной основы – карты «Геосистемы Байкальского региона» масштаба 1:5 000 000; 6 – единой системы геосистемных признаков-индикаторов; 7 – единой системы оценочных, прогнозных, нормировочных, рекомендательных геосистемных критериев; 8 – единой контурной основы серии карт геосистем; 9 – единой системы контуров карт геоэкологического зонирования исследуемой территории.

Табл. 1. Логико-методологическая схема формирования
тематической структуры КИС

Table 1. Logical and methodological scheme of the formation of the thematic structure of CIS

Объект исследования: геосистемы – геоэкологические структуры (рис. 1)		
<i>Object of research: geosystems – geoecological structures (fig. 1.)</i>		
<i>Этапы исследования</i> <i>Stages of research</i>		
<i>Процедуры, методы</i> <i>Procedures, methods</i>		<i>Результаты [Атлас..., 2021]</i> <i>Results [Atlas..., 2021]</i>
<i>I. Создание базовой информационной основы картографирования</i> <i>I. Creating a basic information basis for mapping</i>		
Определение объекта, анализ его иерархического ранга, структуры, параметров классификации геосистем	Инвентаризация, пространственная и тематическая генерализация, геосистемный анализ, специализированная классификация	Базовая карта м-ба 1:5 000 000 Геосистемы Байкальского региона
<i>II. Создание геосистемных экологических, геоэкологических, эколого-географических карт</i> <i>II. Creation of geosystem, ecological, geoecological, ecological and geographical maps</i>		
Разработка экологических, геоэкологических, эколого-географических признаков-индикаторов и критериев оценки состояния геосистем	Интерпретация и модификация геосистемной информации, специализ. классификация геосистем экологического, геоэкологического, эколого-географического содержания	Ландшафтно-экологическая. Геоэкологическая. Эколого-географическая. Благоприятность условий жизнедеятельности
<i>III. Создание прогнозных карт геосистем</i> <i>III. Creation of forecast maps of geosystem</i>		
Разработка геосистемных признаков-индикаторов изменчивости геосистем, природного экологического риска	Логико-ситуационный анализ, вариативный географический прогноз, создание рядов возможных модификаций и антропогенных трансформаций геосистем	Категории изменчивости геосистем. Предрасположенность к ЭР. Потенциальные трансформации геосистем
<i>IV. Создание карт использования геосистем и рекомендательных карт</i> <i>IV. Creating geosystem usage maps and recommendation maps</i>		
Экологическое нормирование использования. Разработка рекомендаций по экологической стабилизации геосистем	Сопряженный территориальный анализ геосистем и типов их использования, внешних воздействий и их последствий, разработка комплексных классификаций геосистем	Геосистемы и их использование. Нарушенность структуры геосистем. Рекомендуемые режимы использования геосистем
<i>V. Создание карт полифункционального геоэкологического зонирования</i> <i>V. Creating maps of multifunctional geoecological zoning</i>		
Разработка принципов и признаков функционального зонирования	Картографическое геоэкологическое зонирование	Карты геоэкологического зонирования по разным оценочным категориям

Полисистемный геоэкологический подход комплексирования географической информации предполагает единообразную форму выполнения процедуры исследования и картографирования геосистем с соблюдением последовательности следующих этапов получения целевого результата: 1) создание исходной совокупности физико-географической информации как объекта комплексного исследования; 2) перевод информации в конструктивную форму, которая обеспечивает представление об объекте, процедурах его исследования и одновременно отвечает запросам обработки информации с использованием ГИС-технологий; 3) практическая реализация задачи создания комплексной серии карт для КИС географической среды геосистемного геоэкологического содержания.

Анализ геосистем Байкальского региона предполагает рассмотрение каждого участка исследуемой территории как части глобальной иерархичной геосистемы, низшие категории которой подчинены высшим и несут на себе их признаки, и все они в совокупности отражаются в классификациях-легендах тематических карт (табл. 1). В свою очередь, данные о структуре, функционировании, динамике геосистем, их взаимосвязях составляют важную часть обеспечения целевых задач исследования и картографирования. Концептуальную основу разработки оценочных, прогнозных, прогнозно-рекомендательных карт и карт геоэкологического зонирования единой КИС географической среды Байкальского региона составляют представления о геоэкологических структурах как геосистемах, выполняющих целевые функции (табл. 1). Геоэкологические структуры, или геосистемы – это географические пространства, где все компоненты природы находятся в тесной взаимосвязи друг с другом и как определенная целостность взаимодействуют с человеческим обществом [Сочава, 2005].

Состояние геосистем представляется как соотношение параметров их структуры и функционирования в определенный промежуток времени [Семенов, 1991; Данько, Кузьмин, 1999; Кузнецова и др., 2009; Фролов, 2011]. Понятие «целостность» предполагает, что свойства геосистемы не равны сумме свойств составляющих ее компонентов, а интегральные свойства, определяемые всеми переменными слагаемыми, зависят от интегральной интенсивности функционирования, внутреннюю составляющую которой В.Б. Сочава назвал структурной организацией, определяющей, в конечном счете, все свойства природной среды. В геоэкологических исследованиях Байкальского региона понятие «организация геосистем» используется в трех смыслах: как состояние (состав) структурной и пространственно-иерархической упорядоченности геосистем в конкретный промежуток времени, как процесс упорядочения природных образований в результате спонтанного развития (самоорганизация, саморегулирование) и как упорядочение в результате целевого внешнего воздействия (управление).

В зависимости от целей исследования на тематических картах единой КИС Байкальского региона объектами мелкомасштабного картографирования являются «геомы» [Сочава, 2005, с. 38], выделенные в пределах физико-географических областей, или их пространственные объединения. Для российской территории Байкальского региона геомы были выделены посредством картографической генерализации контуров ранее опубликованных карт геосистем ранга групп (классов) фаций [Кузнецова и др., 2009; Кузнецова, Бардаш, 2014]. Далее, в меру необходимости, проводились объединения контуров геомов в подгруппы геомов, группы геомов, подклассы геомов и пр. Для территории Монголии контуры геомов и их объединений выделялись на основе анализа карт природы и литературных источников [Атлас ..., 2021, с. 59–61].

В силу иерархичности классификации геосистем характеристики геомов и их классификационных объединений отображают многочисленные природные, экологические, а в конечном итоге производственные возможности географической среды. Для их многоаспектного исследования были использованы традиционные методы геосистемного картографического анализа: 1) регионально-типологический; 2) структурно-иерархический; 3) структурно-функциональный; 4) структурно-динамический; 5) экологический, геоэкологический, эколого-географический; 6) ситуационный; 7) территориальный.

Характеристики качественной оценки состояния геосистем были получены в результате анализа геосистемных признаков-индикаторов и экологической, геоэкологической, эколого-географической интерпретации геосистемной информации. В качестве геосистемных признаков-индикаторов используются морфотипические характеристики, характеристики интегральной интенсивности функционирования, динамические характеристики, характеристики местоположений, гидротермики, продуцирования биомассы геосистем и пр. [Кузнецова, 2020].

На основе полученных данных были составлены карты геосистем экологического, геоэкологического, эколого-географического содержания, карты геоэкологического зонирования исследуемой территории, которые отображают комплекс природных условий географической среды. Многоаспектное, но, в конечном счете, единое рассмотрение разных аспектов характеристик геосистем Байкальского региона регионального таксономического ранга обеспечило пространственное, тематическое согласование, сопряженность географической информации и возможность картографирования географической среды обширной территории с использованием продукции ГИС MapInfo Professional.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Разработана и реализована логико-методологическая последовательность процедуры подготовки научной картографической информации об объекте исследования для решения целевой задачи создания серии карт единой КИС географической среды Байкальского региона геосистемного геоэкологического содержания масштаба 1:5 000 000, которая обеспечила пространственную, тематическую согласованность географической информации и использование современных ГИС-технологий.

Получены новые знания о структурно-функциональных основах пространственно-временной организации геосистем Байкальского региона регионального иерархического уровня, на их базе разработаны признаки-индикаторы оценки состояния геосистем, прогноза его возможного изменения, нормировочные основы использования геосистем и принятия природоохранных решений. В качестве демонстрационного материала представлен фрагмент карты «Геоэкологические структуры Байкальского региона» масштаба 1:5 000 000, разработанной для КИС «Географическая среда» Атласа «Байкальский регион: общество и природа» (рис. 2) [Атлас ..., 2021, с. 59–61].

В целом структура геосистем Байкальского региона характеризуется сложностью, как по набору природных комплексов, так и по степени их контрастности в силу своего трансграничного расположения относительно центров регионально-типологических комплексов природных условий – «ландшафтных концентров» [Михеев, 1987, с. 147]. В классификации-легенде карты в качестве основных параметров геосистем приводятся четыре ряда характеристик: 1 – структурно-иерархические; 2 – функциональные; 3 – динамические; 4 – условий развития (интегральной интенсивности функционирования).

Классификационные признаки геомов отражают интегральную интенсивность функционирования геосистем и ее факторы, которые в совокупности увязываются с их динамическими категориями и экологической устойчивостью как степенью возможной общей реакции на оказываемое внешнее воздействие (подписи к рис. 2). В разделе «приложение» легенды карты приводятся количественные значения факторов интегральной интенсивности функционирования геосистем, которые были получены в результате картографического анализа многочисленных систематизированных литературно-картографических данных о зональных типах ландшафтов, их тепло-, влагообеспеченности и биологической продуктивности растительного компонента.

Структурно-иерархические характеристики отражают основные инвентаризационные морфотипы геосистем Байкальского региона планетарной и региональной размерности. Признаки геомов и их классификационных объединений позволили определить комплекс характеристик природных условий исследуемой территории (см. рис. 2, подписи к рис. 2).

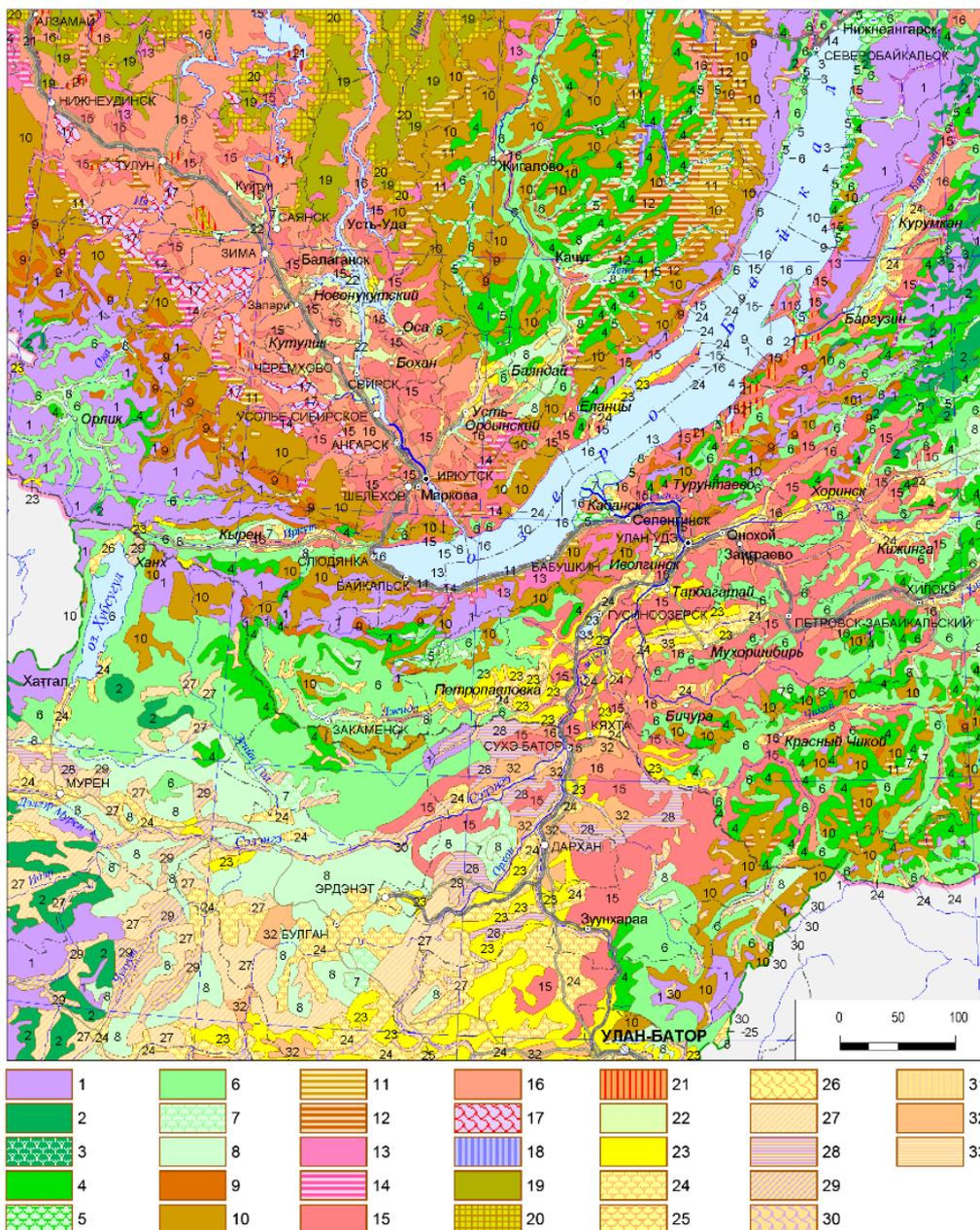


Рис. 2. Геоэкологические структуры Байкальского региона [Атлас ..., 2021]

Fig. 2. Geocological structures of the Baikal region [Atlas ..., 2021]

Основные классификационные категории геосистем Байкальского региона

The main classification categories of geosystems of the Baikal region

A. Североазиатские внутриматериковые субарктические, бореальные и семиаридные

A.I. Гольцовые и подгольцовые таежных высокогорий байкало-дзугдзурские (сибирско-панпритихоокеанские) и южносибирско-северомонгольские (палеоатлантические)

1. Гольцово-верхнетаежные (гольцовые тундровые; гольцовые альпинотипные; высокогорные тундрово-луговые с фрагментами полупустынно-степной растительности; подгольцовые кустарниковые; подгольцовые лиственнично-редколесные и каменно-березовые; подгольцовые темнохвойно-редколесные) *экстремальных условий развития: холодных* влажных ** местообитаний с относительно умеренным континентальным климатом, с многолетнемерзлыми почво-грунтами, с очень незначительным сезонным протаиванием мерзлоты, с низкой или средней продуктивностью растительности*** (c)****.*

А II. Горнотаежные Байкало-Джугджурские холодных и влажных условий

2. Горнотаежные лиственничные редуцированных условий развития: умеренно холодных влажных местообитаний с многолетнемерзлыми почво-грунтами, с незначительным сезонным протаиванием мерзлоты, с низкой или средней продуктивностью растительности (м). 3. Межгорных понижений и долин таежные лиственничные *гиперредуцированных условий развития инверсионного климатического фона*: умеренно холодных влажных местообитаний с многолетнемерзлыми почво-грунтами, с незначительным сезонным протаиванием мерзлоты, со средней продуктивностью растительности (м). 4. Горнотаежные лиственничные ограниченных условий развития: умеренно теплых влажных местообитаний с многолетнемерзлыми почво-грунтами, с значительным сезонным протаиванием мерзлоты, со средней или повышенной продуктивностью растительности (к). 5. Межгорных понижений и долин таежные лиственничные *значительно ограниченных условий развития инверсионного климатического фона*: умеренно теплых влажных или избыточно влажных местообитаний с барьерно-мерзлотным типом увлажнения, с многолетнемерзлыми почво-грунтами, с значительным сезонным протаиванием мерзлоты, со средней продуктивностью растительности (м, местами с). 6. Горнотаежные лиственничные инсоляционных склонов *оптимальных условий развития*: теплых умеренно влажных местообитаний с многолетнемерзлыми почво-грунтами, с повышенной продуктивностью растительности (м, местами уд). 7. Подгорные и межгорных понижений таежные лиственничные *оптимальных условий развития*: теплых влажных или умеренно влажных местообитаний с многолетнемерзлыми почво-грунтами, с повышенной продуктивностью растительности (м, местами с). 8. Подгорные подтаежные лиственничные *субоптимальных условий развития*: теплых недостаточно влажных местообитаний, преимущественно долин крупных рек, с многолетнемерзлыми почво-грунтами, с повышенной продуктивностью растительности (п, местами уд).

А III. Горнотаежные Южносибирско-Северомонгольские контрастных условий

9. Горнотаежные темнохвойные *редуцированных условий развития*: умеренно холодных влажных местообитаний с многолетнемерзлыми почво-грунтами, с низкой или средней продуктивностью растительности (м). 10. Горнотаежные темнохвойные *ограниченных условий развития*: умеренно теплых влажных местообитаний с сезонно-мерзлыми и многолетнемерзлыми (северо-монгольские) почво-грунтами, с повышенной продуктивностью растительности (к). 11. Подгорные и межгорных понижений таежные темнохвойные *ограниченных условий развития*: умеренно теплых влажных местообитаний с сезонно-мерзлыми почво-грунтами, с повышенной продуктивностью растительности (м). 12. Подгорные и межгорных понижений таежные кедрово-лиственничные *ограниченных условий развития*: умеренно теплых влажных местообитаний с сезонно-или многолетнемерзлыми почво-грунтами, со средней или повышенной продуктивностью растительности (п). 13. Горнотаежные темнохвойные *оптимальных условий развития*: теплых избыточно влажных местообитаний с барьерно-дождевым типом увлажнения, с сезонно-мерзлыми почво-грунтами, с высокой продуктивностью растительности (м). 14. Подгорные, межгорных понижений и долин таежные темнохвойные *оптимальных условий развития*: теплых избыточно влажных местообитаний с барьерно-дождевым и натечным типом увлажнения, с сезонно-мерзлыми почво-грунтами, с повышенной или высокой продуктивностью растительности (м). 15. Горные сосновые, горные подтаежные лиственничные, горные березовые; подгорные подтаежные сосновые *субоптимальных условий развития*: теплых умеренно влажных местообитаний с сезонно- или многолетнемерзлыми (северо-монгольские) почво-грунтами, со средней продуктивностью растительности (п, местами уд). 16. Подгорные подтаежные сосновые, горные подтаежные лиственничные, сосновые, березовые *субоптимальных условий развития*: теплых умеренно влажных местообитаний с сезонно- или многолетнемерзлыми (северо-монгольские) почво-грунтами, со средней продуктивностью растительности (п, местами уд). 17. Подгорные подтаежные лугово-болотные в сочетании с сосновыми или лиственничными

лесами *субоптимальных условий развития*: теплых избыточно влажных местоположений с многолетнемерзлыми почво-грунтами, с натечным и мерзлотно-барьерным типом увлажнения, со средней продуктивностью растительности (с).

А IV. Равнинно-плоскогорные Среднесибирские субарктического влияния

18. Среднетаежные лиственничные останцово-денудационных плато и возвышенностей *ограниченных условий развития*: умеренно теплых влажных местообитаний с многолетнемерзлыми почво-грунтами, с значительным сезонным протаиванием мерзлоты, с повышенной продуктивностью растительности (м).

19. Южнотаежные темнохвойные возвышенностей *оптимальных условий развития*: теплых влажных местообитаний с сезонно-мерзлыми почво-грунтами, с повышенной продуктивностью растительности (иногда с высокотравьем) (м). 20. Южнотаежные темнохвойные (на равнинах) *оптимальных условий развития*: теплых избыточно влажных местообитаний с сезонно-мерзлыми почво-грунтами, с высокой продуктивностью растительности (с высокотравьем) (к). 21. Подтаежные (на приподнятых равнинах и плато) лиственничные и сосновые *субоптимальных условий развития*: теплых умеренно влажных местообитаний с сезонно-мерзлыми почво-грунтами, с повышенной продуктивностью растительности (п, местами уд.).

Б. Североазиатские внутриматериковые семиаридные

Б.1. Лугово-степные Южносибирские аридно-теневого подгорного эффекта

22. Подгорных равнин, межгорных понижений, долин лугово-степные; долинные и низинные солончаково-луговые в сочетании с сазовыми степями и кустарниками *субоптимальных условий развития*: теплых недостаточно влажных местообитаний с влиянием североатлантических воздушных масс, с сезонно-мерзлыми почво-грунтами, со средней продуктивностью растительности (уд).

В. Центральноазиатские внутриматериковые аридные

В. 1. Горные Западно-Забайкальские даурского типа

Редуцированных условий развития: теплых сухих местообитаний с влиянием тихоокеанского муссона, с выраженной длительно-временной цикличностью увлажнения, с сезонно- иногда многолетнемерзлыми почво-грунтами, со средней или низкой продуктивностью растительности

23. Склоновые остепненно-луговые кобрезиевые, мелкодерновинно-злаковые типчаковые, крупнозлаковый ковыльно-житняковые (к). 24. Пологосклоновые, подгорных равнин и межгорных понижений разнотравно-типчаково-пижмовые, караганово-злаковые, мелкодерновинно-злаковые литофильные (м, местами уд.). 25. Днищ котловин кобрезиево-типчаковые, низкотравные остепненно-луговые мерзлотно- (м, местами уд.). 26. Долинные осоково-злаковые лугово-болотные солонцеватые, вострецовые слабозакустаренные лугово-степные (с, местами уд).

В.2. Горные Хангайско-Хэнтэйские

Редуцированных условий развития: умеренно теплых недостаточно влажных или сухих местообитаний с относительно мягким климатом, с влиянием летнего тихоокеанского муссона и смягчающих зимних северо-западных ветров, с сезонно- иногда многолетнемерзлыми грунтами, со средней или повышенной продуктивностью растительности.

27. Склоновые разнотравно-мелкодерновиннозлаково-типчаковые, богаторазнотравно-осоково-мятликовые луговые, разнотравно-злаковые (к). 28. Подгорные и равнинные разнотравно-тонконоговые, разнотравно-типчаково-тонконоговые (к, местами уд.). 29. Днищ котловин разнотравно-вострецово-тырсовые (м, местами уд.). 30. Долин-ные разнотравно-злаковые кустарниковые, осоковые заболоченные, злаково-разнотравные, с лиственницей мерзлотно- (с, местами уд).

*В.3. Высоких равнин и денудационных останцов
Среднехалхаско-Восточномонгольские гемикриофильные*

Экстремальных условий развития: теплых и очень теплых сухих или очень сухих местообитаний с очень контрастными суточными температурами, с сезонно-мерзлыми почво-грунтами, со средней или низкой, иногда минимальной, продуктивностью растительности.

31. Денудационных поверхностей и пологих склонов травяно-степные пижмовые, разнотравно-вострецово-тырсовые, змеевково-вострецовые (к). 32. Склоновые мелкодерновиннозлаково-тырсовые, тырсовые в сочетании с кустарниковыми, полукустарничковыми и литофильными группировками (м, местами уд). 33. Долинные галофитно-разнотравные, галофитно-злаковые, осоково-злаковые, лугово-тальниково-тополевые остепненные, лугово-болотные (с).

Примечание. *Теплообеспеченность (сумма биологически активных температур воздуха: сумма среднесуточных температур за период с температурами выше 10 °С): холодные (600–800 °С и менее), умеренно холодные (800–1200 °С), умеренно теплые (1200–1600 °С), теплые (1600–2000 °С), очень теплые (более 2000–2400 °С), жаркие (более 2400 °С). **Влагообеспеченность (радиационный индекс сухости по М.И. Будыко): избыточно влажные (менее 0,5), влажные (0,5–1,0), умеренно влажные (1,0–1,5), недостаточно влажные (1,5–2,0), сухие (2,0–2,5), очень сухие (более 2,5). ***Биологическая продуктивность – годовой прирост, выраженный в весе сухой массы органического вещества надземной и подземной частей растений (ц/га сухой массы): минимальная (менее 20 ц/га), низкая (20–40 ц/га), средняя (40–60 ц/га), повышенная (60–80 ц/га), высокая (более 80 ц/га). ****Динамические категории и экологическая устойчивость (стабильность) геосистем: к – коренные – наиболее стабильные; м – мнимокоренные – стабильные; п – переходные – условно стабильные; с – серийные – менее стабильные; уд – устойчиво длительно-производные разной степени антропогенной нарушенности.

Функциональные характеристики отражают территориальные соотношения тепла и влаги, их связи с параметрами географических местоположений геосистем и обеспечивают информационный базис анализа экологического, ресурсного, эколого-географического потенциала, оптимизации территории [Напрасников, Задорожный, 2002; Кузнецова и др., 2009; Владимирова, 2018].

Структурно-динамические характеристики способствуют выявлению всего относящегося к пространственно-временной организации геосистем [Михеев, 1987; Конова-лова, 2010, 2012; Кузнецова, Бардаш, 2014, Кузнецова, 2020]. В данном исследовании они позволяют качественно оценить особенности и последовательность возможных изменений состояния геосистем в результате внешнего воздействия. Представленные в легенде карты основные таксономические типы геосистем позволяют описать систему динамических состояний геосистем ранга геомов как переменных состояний в составе подклассов геомов (подписи к рис. 2).

Вопрос о принадлежности геосистем к той или иной динамической категории существенен для перехода от оценочно-функционального этапа исследования геосистем к прогнозному и прогнозно-рекомендательному этапам (см. табл. 1). Наиболее устойчивые – это коренные геосистемы (к), которые характеризуются наибольшей степенью уравновешенности экологических условий с условиями среды вышестоящей по рангу геосистемы, в пределах которой они были выделены. Обычно в рамках допустимой нагрузки (без полного уничтожения) они сохраняют тенденцию к восстановлению. Менее устойчивыми являются мнимокоренные геосистемы (м), формирующиеся в условиях гипертрофирующего влияния какого-либо природного фактора: криоморфного, гидроморфного, литоморфного и др. Еще большее изменение их природного режима может привести к глубоким изменениям структуры геосистем.

Геосистемы, несущие в себе черты условий, сближающих их с характеристиками других подклассов геосистем, относятся к переходному типу устойчивости (п). По этому

признаку они являются условно стабильными. Нарушение их структуры часто не приводит к восстановлению, если они не связаны с постоянно действующими природными факторами. Наименее устойчивыми являются серийные геосистемы (с). Формирование устойчивых длительно-производных геосистем (уд) связано с глубокими антропогенными преобразованиями их структуры.

Карта «Геоэкологические структуры Байкальского региона» масштаба 1:5 000 000 является информационной основой для создания производных интерпретационных тематических слоев целостной КИС (см. табл. 1). Далее интерпретационные карты геосистем разного содержания используются для картографического геоэкологического зонирования территории Байкальского региона: объединения геомов с тождественными природными условиями местоположений. Они классифицируются по оценочным категориям: 1) интегральной интенсивности функционирования геосистем и ее факторов; 2) саморегулирования геосистем; 3) чувствительности (уязвимость) геосистем к внешнему воздействию; 4) антропогенной нарушенности геосистем; 5) природного экологического риска (ЭР); 6) экологического потенциала геосистем; 7) благоприятности геосистем для жизнедеятельности людей [Кузнецова, 2020; Атлас ..., 2021, с. 59–61].

Важным моментом разработки и реализации методов создания единой КИС географической среды Байкальского региона является последовательность этапов картографирования и преемственность их тематической структуры, посредством которых реализуется комплексность конструктивного исследования географической среды, обеспечивается доказательность полученных оценочных, прогнозных и прогнозно-рекомендательных исследований.

ВЫВОДЫ

Предложенная в исследовании логико-методологическая последовательность процедуры научной подготовки картографической информации о геоэкологических структурах Байкальского региона обеспечивает изучение трех взаимосвязанных аспектов географической среды – экологии ландшафта, экологии существования человека, экологии его активной жизнедеятельности как аналитических ступеней единого географического исследования.

Разработанная методология конструктивного подхода мелкомасштабного картографирования географической среды исследуемой территории обеспечивает универсальное представление об объекте и процедурах его исследования и отвечает запросам обработки и распространения географической информации с использованием ГИС-технологий.

Согласованность картографической информации комплексной КИС географической среды обусловлена ее унификацией и последовательной (поэтапной) структурированностью посредством создания единой системы сопряженных специализированных классификаций-легенд карт геосистем регионального иерархического ранга с использованием общенаучной классификации геосистем академика В.Б. Сочавы.

Представления о структурно-функциональных и структурно-динамических основах пространственно-временной организации геосистем регионального иерархического ранга обеспечили переход от инвентаризационного и оценочно-функционального этапов исследования и мелкомасштабного картографирования географической среды Байкальского региона к прогнозному и прогнозно-рекомендательному этапам.

Созданная КИС географической среды Байкальского региона является надежной информационно-инвентаризационной основой для разработки новых карт геосистем экологического, геоэкологического и эколого-географического содержания более высокого уровня сложности и структурной организации. Каждый пространственно-иерархический выдел геосистем регионального ранга выступает как территориальная ячейка сосредоточения многоаспектной сопряженной информации по региону, которая может использоваться для необходимых экологических оценок, географического прогнозирования, геоэкологического зонирования территории.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет средств государственного задания (FWEM-2021-0005) № АААА-А21-121012190063-2.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was done within the within the framework of a government assignment (FWEM-2021-0005) No. АААА-А21-121012190063-2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас «Байкальский регион: общество и природа». Москва: Паулсен, 2021. С. 59–61.
2. *Бешенцев А.Н.* Модернизация картографического метода исследования. Геодезия и картография, 2011. №2. С. 19–23.
3. *Владимиров И.Н.* Новые методические подходы к картографированию геосистем (на примере геосистем Байкальской Сибири). Геодезия и картография, 2018. Т. 79. № 7. С. 23–34. DOI: 10.22389/0016-7126-2018-937-7-23-34.
4. *Герасимов И.П.* Научная методология советской конструктивной географии. Известия Академии наук СССР. Сер. Географическая, 1981. № 2. С. 15–26.
5. *Данько Л.В., Кузьмин С.Б.* Методологические аспекты геосистемных исследований. Геосистемные исследования в Сибири. Иркутск : Изд-во ИГ СО РАН, 1999. С. 9–18.
6. *Исаченко А.Г.* Ландшафтный подход как основа системного картографирования природной среды в целях ее оптимизации. Картографирование географических систем. М: Изд-во МГУ, 1981. С. 32–40.
7. *Коновалова Т.И.* Геосистемное картографирование. Новосибирск: Гео, 2010. 186 с.
8. *Коновалова Т.И.* Организация геосистем и ее картографирование. Известия ИГУ. Серия: Науки о земле, 2012. Т. 5. № 2. С. 150–162.
9. *Кузнецова Т.И., Батуев А.Р., Бардаш А.В.* Карта «Природные ландшафты Байкальского региона и их использование»: назначение, структура, содержание. Геодезия и картография, 2009. № 9. С. 18–28.
10. *Кузнецова Т.И., Бардаш А.В.* Создание обзорной геоинформационной системы природной среды Байкальского региона геосистемного геоэкологического содержания. Геоинформатика, 2014. № 1. С. 16–23.
11. *Кузнецова Т.И.* Методология создания геосистемного геоэкологического модуля для цифрового атласа «Байкальский регион: общество и природа». География и природные ресурсы, 2020. Т. 41. № 5. С. 46–51.
12. *Михеев В.С.* Ландшафтно-географическое обеспечение комплексных проблем Сибири. Новосибирск: Наука, 1987. 207 с.
13. *Напрасников А.Т., Задорожный В.Ф.* Забайкальская природная территория – геоэкологическое ядро Евразии. География и природные ресурсы, 2002. № 1. С. 15–24.
14. *Семенов Ю.М.* Ландшафтно-геохимический синтез и организация геосистем. Новосибирск: Наука, 1991. 144 с.
15. *Собисевич А.В., Снытко В.А.* «Конструктивная география»: научное направление о преобразовании природной среды. Стены и мосты: междисциплинарные подходы в исторических исследованиях, 2019. С. 245–251.
16. *Сочава В.Б., Тимофеев Д.А.* Физико-географические области Северной Азии. Докл. Института геогр. Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 1968. С. 3–19.
17. *Сочава В.Б.* Теоретическая и прикладная география. Новосибирск: Наука, 2005. 288 с.
18. *Фролов А.А.* Принципы прогнозирования геомной структуры Предбайкалья при изменении климата. География и природные ресурсы, 2011. № 3. С. 133–141.
19. *Черкашин А.К.* Полисистемное моделирование. Новосибирск: Наука, 2005. 279 с.
20. Экологическое картографирование Сибири. Новосибирск: Наука, 1996. 279 с.
21. *Berry J.K.* Fundamental operations in computer-assisted map analysis. International Journal of Geographical Information Systems, 1987. V. 1. P. 119–136. DOI: 10.1080/02693798708927799.
22. *Lechthaler M.* Interactive and Multimedia Atlas Information System as a Cartographic Geo-communication Platform. Berlin: Springer, 2010. P. 384–402.

REFERENCES

1. Atlas “Baikal region: society and nature”. Moscow: Paulsen, 2021. P. 59–61 (in Russian).
2. *Beshentsev A.N.* Modernization of the cartographic research method. *Geodesy and Cartography*, 2011. No. 2. P. 19–23 (in Russian).
3. *Berry J.K.* Fundamental operations in computer-assisted map analysis. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1987. V. 1. P. 119–136. DOI: 10.1080/02693798708927799.
4. *Cherkashin A.K.* Polysystem modeling. Novosibirsk: Nauka, 2005. 279 p. (in Russian).
5. *Danko L.V., Kuzmin S.B.* Methodological aspects of geosystem research. *Geosystem research in Siberia*. Irkutsk: Publishing House SB RAS, 1999. P. 9–18 (in Russian).
6. *Ecological mapping of Siberia*. Novosibirsk: Nauka, 1996. 279 p. (in Russian).
7. *Frolov A.A.* Principles of forecasting the geomorphic structure of the Pre-Baikal region under climate change. *Geography and Nature Resources*, 2011. No. 3. P. 133–141 (in Russian).
8. *Gerasimov I.P.* Scientific methodology of Soviet Constructive Geography. *Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR. Ser. Geographica*, 1981. No. 2. P. 15–26 (in Russian).
9. *Isachenko A.G.* Landscape approach as a basis for system mapping of the natural environment in order to optimize it. *Mapping of geographical systems*. Moscow: Moscow University Press, 1981. P. 32–40 (in Russian).
10. *Konovalova, T.I.* *Geosystem mapping*. Novosibirsk: Geo, 2010. 186 p. (in Russian).
11. *Konovalova T.I.* Organization of geosystems and its mapping. *Izvestia IGU. Earth Science series*. Irkutsk, 2012. V. 5. No. 2. P. 150–162. (in Russian).
12. *Kuznetsova T.I., Batuev A.R., Bardash A.V.* Map of the natural landscapes of the Baikal region and their use: purpose, structure, content. *Geodesy and Cartography*, 2009. No. 9. P. 18–28 (in Russian).
13. *Kuznetsova T.I., Bardash A.V.* Creation of an overview geoinformation system of the natural environment of the Baikal region of geosystem geocological content. *Geoinformatics*, 2014. No. 1. P. 16–23 (in Russian).
14. *Kuznetsova T.I.* Methodology of creating a geosystem geocological module for the digital atlas “Baikal region: society and nature”. *Geography and Natural Resources*, 2020. V. 41. No. 5. P. 46–51 (in Russian).
15. *Lechthaler M.* *Interactive and Multimedia Atlas Information System as a Cartographic Geo-communication Platform*. Berlin: Springer, 2010. P. 384–402.
16. *Mikheev V.S.* *Landscape and geographical support of complex problems of Siberia*. Novosibirsk: Nauka, 1987. 207 p. (in Russian).
17. *Naprasnikov A.T., Zadorozhny V.F.* Zabaikalskaya natural territory – geocological core of Eurasia. *Geography and Nature Resources*, 2002. No. 1. P. 15–24 (in Russian).
18. *Semenov Yu.M.* *Landscape-geochemical synthesis and organization of geosystems*. Novosibirsk: Nauka, 1991. 144 p. (in Russian).
19. *Sobisevich A.V., Snytko V.A.* Constructive geography: a scientific direction on the transformation of the natural environment. *Proceedings of the international scientific conference Walls and bridges: interdisciplinary approaches in historical research*. Moscow, 2019. P. 245–251 (in Russian).
20. *Sochava V.B., Timofeev D.A.* Physical geographical areas of North Asia. *Reports of the Institute of Geography of Siberia and the Far East*, 1968. P. 3–19 (in Russian).
21. *Sochava V.B.* *Theoretical and applied geography*. Novosibirsk: Nauka, 2005. 288 p. (in Russian).
22. *Vladimirov I.N.* New methodological approaches to mapping geosystems (on the example of geosystems of Baikal Siberia). *Geodesy and Cartography*, 2018. V. 79. No. 7. P. 23–34 (in Russian). DOI: 10.22389/0016-7126-2018-937-7-23-34.