УДК 528.9: 911.2 **DOI: 10.35595/2414-9179-2021-2-27-17-30**

Т.И. Кузнецова[1]

ИНФОРМАЦИОННО–КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАЦИЙ ГЕОСИСТЕМ ДЛЯ ЦИФРОВОГО АТЛАСА «БАЙКАЛЬСКИЙ РЕГИОН: ОБЩЕСТВО И ПРИРОДА»

АННОТАЦИЯ

На примере электронного атласа «Байкальский регион: общество и природа» решается проблема ландшафтно-картографического обеспечения изучения трансформаций природы обширной территории. Под трансформацией понимаются изменения природной среды вследствие спонтанного развития или антропогенного вмешательства. При этом различаются потенциальные и актуальные трансформации. Изучение потенциальных трансформаций связано с географическим прогнозом, а изучение актуальных трансформаций предполагает оценку текущего экологического состояния природы. Район исследования включает территорию бассейна озера Байкал, в том числе северные регионы Монголии.

Данный аспект исследования реализуется посредством интеграции множества географических данных о структуре природных систем, их устойчивости и направлениях спонтанных и антропогенных преобразований в единую целевую картографическую информационную систему (КИС). Основным требованием, предъявляемым к содержанию целевого блока карт, является надежность результатов комплексного исследования и их доказательность в случае использования для принятия управленческих решений по оптимизации природной среды.

Разработана логико-методическая последовательность мелкомасштабного целевого картографирования природной среды исследуемой территории. Проведен анализ природных структур и создана базовая инвентаризационная карта геосистем масштаба (М 1 : 5 000 000). Разработана совокупность геосистемных признаков-индикаторов, выполнена экологическая интерпретация информации и комплексное экологическое картографирование; осуществлено геоэкологическое зонирование территории. На основе информационного синтеза полученных данных и знаний о современной ландшафтной структуре региона, методами полисистемного анализа выявлен характер устойчивости, функции, ценностные характеристики геосистем и закономерности их антропогенных преобразований.

Наличие единого блока карт обеспечит изучение вопросов о потенциальных и актуальных трансформациях геосистем. Составленные в определенной последовательности на основе единой структурно-иерархической специализированной классификации мелкомасштабные карты Байкальского региона отражают комплекс природных условий, важных для принятия конструктивно-географических, проектных, управленческих и природоохранных решений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Байкальский регион, цифровой атлас, природная среда, потенциальные трансформации, комплексно-системное картографирование.

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

Tatiana I. Kuznetsova[1]

INFORMATION–CARTOGRAPHIC SUPPORT FOR STUDYING OF POTENTIAL TRANSFORMATIONS OF GEOSYSTEMS FOR THE DIGITAL ATLAS «BAIKAL REGION: SOCIETY AND NATURE»

ABSTRACT

Based on the electronic atlas "Baikal Region: Society and Nature", the problem of landscape-cartographic support for studying the transformations of vast territories is being solved. The transformation of geosystems is understood as changes in the natural environment due to spontaneous development or anthropogenic interference. In this context, potential and actual transformations are distinguished. The research of potential transformations is associated with a geographic forecast of possible changes in the state of the environment due to external impact, and current transformations include an assessment of its current ecological state. The area under investigation includes the territory of the Baikal basin, and the northern regions of Mongolia.

This aspect is realized through the integration of a multitude of geographical data on the structure of natural systems, their sustainability and trends of anthropogenic transformations into a single target cartographic information system (CIS). The main requirement for the content of the target block of maps is the reliability of the results of a comprehensive research and their evidentiality if used to make management decisions to optimize the environment.

A logical and methodological coherence of small-scale target mapping of the natural environment of a vast territory has been developed. The analysis of natural structures was carried out and a basic inventory map of geosystems of scale (M 1:5 000 000) was created. We developed a set of geosystem characteristics and carried out an environmental interpretation of information and integrated environmental mapping, aside from that implemented geoecological zoning of the territory. Based on the information synthesis of the obtained data and knowledge about the modern landscape structure of the region, the methods of polysystem analysis, we revealed the nature of sustainability, functions, value characteristics of geosystems and the patterns of their anthropogenic transformations.

The presence of a single set of maps will provide a study of questions about potential and relevant transformations of geosystems. The small-scale maps of the Baikal region, compiled in a certain sequence on the basis of a single structural-hierarchical specialized classification, reflect a complex of environmental conditions that are important for making constructive-geographical, design, managerial, and environmental decisions.

KEYWORDS: Baikal region, digital atlas, natural environment, potential transformations, integrated system mapping.

ВВЕДЕНИЕ

На территорию Байкальского региона в период с 1962 по 2019 год были созданы и выпущены в свет более 20 географических атласов [*Батуев и др.,* 2020], различных по своему назначению, структуре, тематике, масштабу, методам и способам картографирования. Все они имеют важное общенаучное, образовательное и культурное значения как обеспечивающие сбор, хранение, преобразование и представление многочисленных пространственных данных и знаний.

В период с 2017 по 2019 год силами коллективов институтов Сибирского отделения Российской академии наук при участии высших учебных и научных учреждений Монголии

[1] V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS 664033 Irkutsk, Ulan-Batorskayast 1, Russia, *e-mail:* **kuznetzova@irigs.irk.ru**

в лаборатории картографии, геоинформатики и дистанционных методов Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН был разработан цифровой атлас «Байкальский регион: общество и природа» [*Батуев, Корытный,* 2018]. Район исследования включает территорию бассейна озера Байкал, в том числе северные регионы Монголии.

Главной целью создания Атласа было формирование информационной системы обеспечения пространственного развития региона в рамках экологической безопасности взаимодействия общества с природными системами и разработка стратегии и тактики природопользования, которые в данных исторических условиях должны работать на решение сверхзадачи – устойчивое развитие. Конструктивная направленность тематического содержания Атласа и его акценты на отображении возможных последствий активного взаимодействия общества с природой обусловили необходимость развития специального научного знания, которое представлено в виде отдельных тематически завершенных цифровых модулей трех основных направлений:

- социально-экономические факторы формирования экологической обстановки;
- экологическое состояние и трансформация природной среды, медико-географическая обстановка;
- охрана окружающей среды и рациональное природопользование.

Основной особенностью методологии разработки данного атласа является использование системного подхода к созданию многоуровневых картографических моделей как комплекса взаимосвязанных произведений, обеспечивающего эффективную обработку, интерпретацию, анализ и обобщение пространственной информации на различных территориально-иерархических уровнях [*Батуев, Корытный,* 2018]. Для Атласа были определены основные уровни картографирования и масштабы карт:

- макрорегиональный (М 1: 18 000 000 – 1: 30 000 000);
- межрегиональный (М 1: 5 000 000; 1: 7 500 000 – 1: 10 000 000);
- муниципальных образований на уровне субъектов РФ, городских районов и округов (М 1:200 000 – 1:3 000 000);
- локальный уровень для отдельных поселений или физико-географических образований (М 1: 10 000 – 1:100 000).

Целью данного исследования является разработка теоретико-методологических основ создания обзорной картографической информационной системы (КИС) «Природная среда» для цифрового атласа «Байкальский регион: общество и природа», обеспечивающей исследование возможных сценариев трансформаций природы и принятие природоохранных управленческих решений. Изучение потенциальных трансформаций природы связано с географическим прогнозом, а изучение актуальных трансформаций предполагает экологическую оценку её текущего состояния [*Сочава,* 1986; *Михеев,* 1987; *Иванов и др.,* 2009]. В этой связи в задачу исследования входило, с одной стороны, решение вопросов информационно-картографического обеспечения прогноза потенциальных трансформаций природных структур, а, с другой стороны, разработка теории картографирования рекомендательных природоохранных мероприятий для минимизации отрицательных последствий внешних воздействий. Для решения проблемы были необходимы:

- разработка концепции создания КИС «Природная среда» геосистемного содержания, отвечающей требованиям информационного обеспечения географического прогноза трансформаций геосистем, на базе которого будут выявляться, с одной стороны, необходимые ограничения структурно-функционального воздей-

ствия на природу, а, с другой, разрабатываться мероприятия по ее рациональному использованию и охране;

- разработка тематической структуры целереализующей КИС;
- выбор таксономического ранга исследования геосистем, отвечающего пространственному охвату, масштабу, целям, задачам и способам картографирования; сбор исходного материала и анализ закономерностей пространственной дифференциации природной среды исследуемого региона;
- разработка базовой инвентаризационно-информационной основы для КИС «Природная среда»;
- модификация информации базовой карты и создание производных целереализующих тематических слоев КИС.

Тематика исследования актуальна. До настоящего времени прогнозное и прогнозно-рекомендательное картографирование геосистем относится к числу менее разработанных направлений атласного картографирования Байкальского региона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методология исследования определялась требованием, предъявляемым к содержанию блока карт КИС «Природная среда» – надежность результатов комплексного исследования геосистем и их доказательность в случае использования для географического прогноза или принятия управленческих решений по оптимизации природной среды. Данный аспект реализуется посредством полисистемной геоэкологической концепции [*Михеев,* 1987; *Жиров,* 2002; *Козин,* 2009], усовершенствованной в соответствии с масштабом, целью и назначением картографирования. Преимущество данного подхода заключается в возможности выявления и отображения разнообразных аспектов природы при единой группировке пространственных данных, обеспечившей «систематичность, последовательность расположения категориальной структуры аппарата прогнозирования, элементы которого выдаются один за другим, образуя потенциальное доказательство, и линейно-концентрический способ построения всей его процедуры» [*Михеев,* 1987, с. 8]. В практическом плане задача исследования заключалась в осуществлении сбора, анализа, модификации и интеграции географической информации о природных структурах в единую информационно-картографическую систему.

Создание базовой инвентаризационно-информационной карты геосистем Байкальского региона осуществлялось на основе анализа, синтеза и модификации материалов территориально разрозненных цифровых ландшафтных[1], ландшафтно-экологических[2], геоэкологических[3] карт геосистем, созданных, ранее на исследуемую территорию в лаборатории картографии, геоинформатики и дистанционных методов ИГ им. В.Б. Сочавы СО РАН с использованием продукции ГИС MapInfo Professional. Над созданием базовой карты геосистем Байкальского региона трудился коллектив специалистов. В авторский коллектив входили Т.И. Кузнецова, А.В. Бардаш,

---

1 Природные ландшафты Байкальского региона и их использование. Карта. М 1:5 000 000. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.rgo.ru/ru/irkutskoe-oblastnoe-otdelenie/proekty/karty. Русское географическое общество. Карты. Природно-ресурсный потенциал. Карта 9. (дата обращения 13.04.2021).

2 Ландшафтно-экологические комплексы Байкальского региона. Карта. М-б 1:5 000 000. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://atlas.isc.irk.ru. Экологический атлас Байкальского региона. Природные условия формирования экологической обстановки. Карта 68 (дата обращения 13.04.2021).

3 Ландшафтно-экологические комплексы бассейна оз. Байкал. Карта. М-б 1:5 000 000. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://bic.iwlearn.org/ru/atlas/atlas. Атлас. Карта 060 (дата обращения 13.04.2021).

Д.А. Лопаткин. Кроме них в составлении карт КИС своими консультациями принимал участие А.Р. Батуев.

Информационную основу для проведения эколого-фитоценотической индикации условий природной среды Байкальского региона составляли также материалы опубликованных ранее Корреляционной эколого-фитоценотической карты Азиатской России[1] и Эколого-географической карты Российской Федерации[2]; а также ряд публикаций, содержащих информацию о зональных типах ландшафтов и о факторах их интегральной интенсивности функционирования [*Назимова и др.,* 2004; *Поликарпов и др.,* 1986; *Волкова,* 1992].

Разработка специализированной классификации геосистем Байкальского региона для базовой карты связана с именем академика В.Б. Сочавы и его научной деятельностью в период с 1960 по 1978 год по созданию универсальной общенаучной структурно-динамической классификации геосистем. Обзорное картографирование Байкальского региона было проведено по крупным подразделениям геосистем – «геомам и их классификационным объединениям» [*Сочава,* 2005, с. 90]. Всего было выделено 41 пространственное геосистемное подразделение Байкальского региона.

Для создания базы пространственных данных геоэкологического зонирования территории Байкальского региона использовались методы картографического анализа и геоэкологической интерпретации геосистемной информации базовой карты [*Булаева и др.,* 2015; *Haaren,* 2004; *Hewitt.,* 2014].

Среди них:

- регионально-типологический, рассматривающий положение геосистемы в окружающей среде;
- иерархический, позволяющий рассматривать каждую вышестоящую в иерархии геосистему как среду формирования стоящей ниже в иерархии геосистемы;
- структурно-функциональный, дающий возможность определить динамические категории геомов в экологическом ряду геосистем конкретной ландшафтной области;
- структурно-динамический, учитывающий многообразие возможных состояний геосистем;
- геоэкологический, позволяющий рассматривать геосистемы как комплекс природных условий для жизнедеятельности людей;
- логико-ситуационный, принимающий во внимание многообразие не только экологических, но и социальных функций геосистем;
- конструктивный, направленный на разработку рекомендаций для решения экологических проблем взаимодействия человека с природой;
- территориальный, нацеленный на картографическое зонирование исследуемой территории по различным экологическим основаниям.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основе дальнейшего развития и усовершенствования методологии полисистемного геоэкологического картографирования в соответствие пространственному охвату, масштабу, целям и задачам создания цифрового атласа «Байкальский регион: общество и природа» разработана концепция создания КИС «Природная среда».

---

1 Эколого-фитоценотические комплексы Азиатской России. Карта. М 1:7 500 000. Иркутск. Изд-во: ИГ Сибири и Дальнего Востока, 1977.

2 Эколого-географическая карта Российской Федерации. Карта. М 1: 4000000. М.: ФСГК, 1996. 4 л.

По материалам уже существующих разрозненных классификаций природных комплексов на территорию, принадлежащую двум суверенным государствам – России и Монголии, относящуюся к бассейну оз. Байкал, была сформирована единая всеобъемлющая специализированная классификация геосистем структурно-динамического содержания, обеспечившая переход от инвентаризационного и оценочного картографирования к прогнозному и прогнозно-рекомендательному картографированию.

Представлен ряд тематических и пространственных обобщений информации в форме единой КИС «Природная среда», дополняющих уже существующие сведения о природе крупного региона Северной и Центральной Азии. Структурно-иерархическая территориальная организация геосистем данной классификации обеспечила рассмотрение проблемы на нескольких пространственных уровнях, а также сопоставимость базовой карты и системы производных карт природных структур Байкальского региона между собой как в содержательном, так и в пространственном аспекте.

Создана инвентаризационно-информационная основа для КИС «Природная среда» масштаба 1:5 000 000 как карта рубежей между геосистемами Байкальского региона региональной размерности, которые представляют собой основу для отображения системных связей, имеющих большое теоретическое значение как отражающие основные географические и эколого-географические особенности региона. Отсюда следует, что все морфотипические характеристики геомов, как основных единиц картографирования, имеют большое индикационное значение; и на их основе была разработана система признаков-индикаторов экологических условий природной среды. В силу своей громоздкости специализированная классификация геосистем и созданная на ее основе легенда карты «Геосистемы Байкальского региона» в данной статье не демонстрируются.

По материалам анализа карты «Геосистемы Байкальского региона» проведено картографическое геоэкологическое зонирование территории как способ группировки геосистем разной структуры, но одного ранга и идентичных экологических условий. Для зонирования обширной территории были разработаны принципы модификации геосистемной информации, в том числе ландшафтной индикации условий природной среды Байкальского региона и система индикационных геосистемных признаков-индикаторов [*Кузнецова*, 1918]; среди них:

- иерархические, типологические, морфологические характеристики геосистем, их интегральная интенсивность функционирования и ее факторы; экологическая устойчивость (стабильность);
- саморегулирование;
- резистентная устойчивость (чувствительность).

Исследовались экологические и социальные функции, определялась антропогенная нарушенность геосистем, возможные природные экологические риски; экологический потенциал; степень благоприятности условий природной среды для жизнедеятельности людей.

На рисунке демонстрируется карта пространственных группировок геосистем ранга геомов, принадлежащих к различным физико-географическим областям Северной и Центральной Азии (Байкало-Джугджурской, Южно-Сибирской, Амуро-Сахалинской, Среднесибирской, Центрально-Азиатской), но с идентичными эколого-географическими условиями, сформировавшимися под воздействием разных внешних сред, но способных одинаково реагировать на однотипные воздействия. Спектр классификационных признаков территориальных объединений геомов, приведенных в легенде карты достаточно широк (см. подписи к рис., п. I–X), а их качественная оценка выражается относительными оценочными категориями.

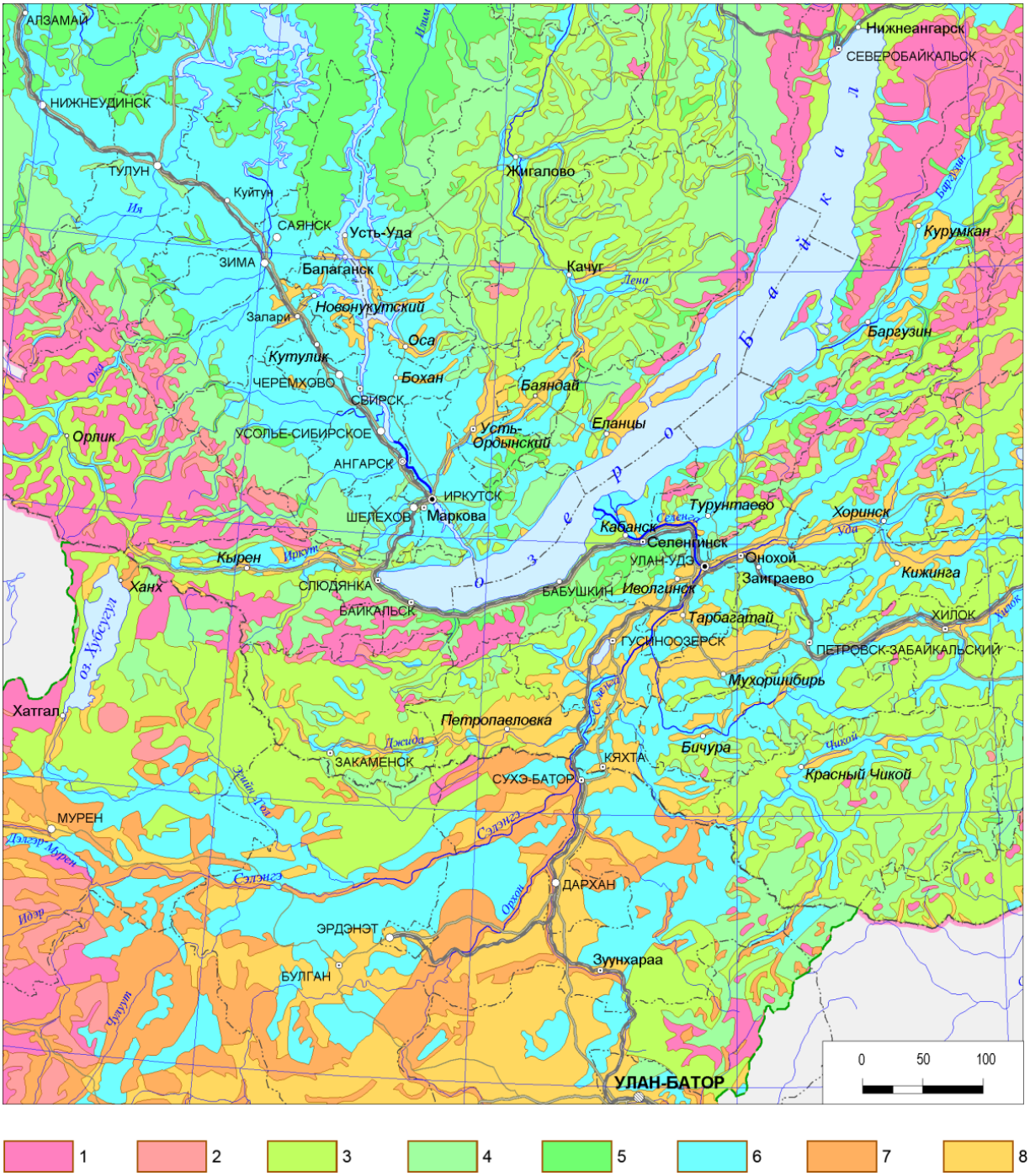

Рис. Геоэкологическое зонирование Байкальского региона
Fig. Geoecological zoning of the Baikal Region

А. Основные природные структуры
A. Basic natural structures

I. *Геоэкозоны. Северо-Азиатские.* 1. Гольцово-таежные высокогорные восточносибирского и южно-сибирского типа (альпинотипные, субальпинотипные, гольцовые, подгольцовые, редколесные). 2. Горнотаежные и таежные лиственничные байкало-джугджурские, горнотаежные темнохвойные южно-сибирские, лиственничные среднесибирские,

лиственничные амуро-сахалинские (лиственнично-маревые, мерзлотно-болотные). 3. Горнотаежные и таежные лиственничные байкало-джугджурские, горнотаежные темнохвойные южно-сибирские, горнотаежные светлохвойные южно-сибирские, среднетаежные лиственничные среднесибирские. 4. Горнотаежные темнохвойные южно-сибирские; 5. Южнотаежные среднесибирские, южнотаежные амуро-сахалинские, горнотаежные сосновые южно-сибирские. 6. Горные и подгорные подтаежные байкало-джугджурские, южно-сибирские, среднесибирские и амуро-сахалинские; лугово-степные южно-сибирские, южнотаежные сосновые, сосновые и боровых равнин среднесибирские. *Центрально-Азиатские.* 7. Горностепные и степные разнотравно-дерновиннозлаковые и дерновинноразнотравные дауро-монгольские. 8. Горностепные и степные дерновинно-злаковые дауро-монгольские.

Пояснения. Арабскими цифрами (1–8) обозначены группировки геомов, относящиеся к разным физико-географическим областям, но с идентичными условиями.

Б. Интегральная интенсивность функционирования и ее факторы
B. Integral intensity of functioning and its factors

II. *Категории функционирования. Северо-Азиатские аркто-бореальные. 1.* Э*кстремальных условий развития:* холодные*, влажные и избыточно влажные**, минимально и низкопродуктивные***. 2. *Редуцированных условий развития:* умеренно холодные, избыточно влажные, низко- и среднепродуктивные. *3. Значительно ограниченных условий развития:* умеренно теплые, влажные и избыточно влажные, средне- и повышенно продуктивные. *4.* О*граниченных условий развития:* умеренно теплые, влажные, повышенно продуктивные. *5. Оптимальных условий развития*: теплые, избыточно влажные и влажные, повышенно и высокопродуктивные. *Северо-Азиатские семиаридные. 6. Относительно оптимальных условий развития*: теплые, недостаточно влажные, повышенно и среднепродуктивные. *Центрально-Азиатские аридные. 7. Редуцированных условий развития:* сухие очень теплые, средне- и низкопродуктивные. *8. Экстремальных условий развития:* очень сухие, жаркие, и низко- и минимально продуктивные.

Пояснения. * – Теплообеспеченность (сумма биологически активных температур воздуха: сумма среднесуточных температур за период с температурами выше 10◦ С): холодные (600–800◦ С), умеренно холодные (800–1200◦ С), умеренно теплые (1200–1600◦ С), теплые (1600–2000◦ С), очень теплые (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).

В. Геосистемные индикаторы потенциальной трансформации природной среды
C. Geosystem indicators of potential transformation of the natural environment

III. *Категории саморегулирования:* 1 – низкая (с очень большим недостатком тепла); 2 – относительно низкая (с большим недостатком тепла); 3 – средняя; 4 – повышенная; 5 – высокая (очень длительный период восстановления); 6 – относительно высокая; 7 – относительно низкая (с большим недостатком влаги); 8 – низкая (с очень большим недостатком влаги).

IV. *Категории чувствительности (уязвимости):* 1 – очень высокая (с минимальной и низкой продуктивностью растительного покрова); 2 – высокая (с низкой и средней продуктивностью растительного покрова); 3 – относительно высокая (со средней и повышенной продуктивностью растительного покрова); 4 – относительно низкая (с повышенной продуктивностью растительного покрова); 5 – низкая (с повышенной и высокой

продуктивностью растительного покрова); 6 – относительно высокая (с повышенной и средней продуктивностью растительного покрова); 7 – высокая (с низкой и средней продуктивностью растительного покрова); 8 – очень высокая (с минимальной и низкой продуктивностью растительного покрова).

V. *Категории антропогенной нарушенности:* 1 – слабо нарушенные; 2 – мало нарушенные; 3 – относительно мало нарушенные; 4 – относительно нарушенные; 5 –нарушенные; 6 – преобразованные; 7 – очень сильно нарушенные; 8 – сильно нарушенные.

Г. Возможные трансформации условий природной среды
D. Possible transformations of environmental conditions

VI. *Категории природного экологического риска (ЭР):* 1 – очень высокая; 2 – высокая; 3 – относительно высокая; 4 – очень низкая; 5 – низкая; 6 – относительно низкая; 7 – высокая; 8 – очень высокая.

VII. *Водоохранные экологические функции:*1 – водосборная, водорегулирующая геосферного значения, водоаккумулирующая мерзлотная; 2 – водорегулирующая регионального значения, водоаккумулирующая мерзлотная; 3 – водорегулирующая, водоаккумулирующая мерзлотная и болотная; 4 – водорегулирующая сезонномерзлая, водозащитная зеленомошная; 5 – водорегулирующая сезонномерзлая, водозащитная крупнотравная и зеленомошная; 6 – водозащитная, водорегулирующая сезонномерзлая, иногда водоаккумулирующая мерзлотная; 7 – водозащитная, водорегулирующая сезонномерзлая; 8 – водозащитная, водорегулирующая сезонномерзлая, влагоформирующая за счет контрастности суточных температур.

VIII. *Возможные изменения характера увлажнения природной среды:* 1 – изменения увлажнения проявляются комплексно, в том числе в смежных структурах; 2 – возможно некоторое увеличение увлажнения в результате незначительного протаивания мерзлоты; 3 – возможно увеличение увлажнения в результате значительного протаивания мерзлоты; 4 – возможно увеличение увлажнения плоских поверхностей и уменьшение увлажнения на склонах в результате усиления инсоляции почво-грунтов; 5 – возможно некоторое увеличение увлажнения на плоских поверхностях и уменьшение на склонах в результате усиления инсоляции; 6 – возможно увеличение аридности условий, иногда увеличение увлажнения; 7 – возможно значительное увеличение аридности условий; 8 – возможно очень значительное увеличение аридности условий.

Д. Благоприятность эколого-географических условий для жизнедеятельности людей
E. Favorable ecological and geographical conditions for the life of people

IX. *Категории экологического потенциала (ЭП):* 1 – очень низкий; 2 – низкий; 3 – относительно низкий; 4 – относительно высокий; 5 – очень высокий; 6 – высокий; 7 – низкий; 8 – очень низкий.

X. *Категории благоприятности:* 1 – максимально неблагоприятные с очень значительным дефицитом тепла; 2 – очень неблагоприятные со значительным дефицитом тепла и значительным избытком влаги; 3 – малоблагоприятные с дефицитом тепла; 4 – относительно благоприятные с оптимальны сочетанием тепла и влаги; 5 – благоприятные с незначительным избытком влаги; 6 – относительно благоприятные с некоторым дефицитом влаги; 7 – малоблагоприятные с большим дефицитом влаги; 8 – максимально неблагоприятные с очень большим дефицитом влаги.

Определяющее значение в изучении потенциальных трансформаций отводилось характеристике *интегральной интенсивности функционирования* геосистем (см. подписи к рис., п. II) и ее факторов: тепло-, влагообеспеченности и биологической продуктивности растительного покрова. Относительные категории интенсивности функционирования геосистем определены по соотношениям тепла и влаги, а также значениям биологической продуктивности растительного покрова по принципу максимума: «чем больше, тем лучше» [Григорьев, Будыко, 1965; Базилевич и др., 1986; Исаченко,1990]. Важнейшие категории функционирования соотносятся с соответствующими морфотипами геосистем (см. подписи к рис. п. I).

Характеристикой стабилизирующей динамики геосистем является *саморегулирование* (см. подписи к рис., п. III), как способность природной среды восстанавливать свою нарушенную структуру после внешнего, в том числе антропогенного воздействия [*Крауклис,* 1974; *Сочава,* 2005]. Категории саморегулирования соотносятся с функционированием геосистем (см. подписи к рис., п. II). «Саморегулирование наиболее действенно в оптимальных условиях тепла и влаги» [*Сочава,* 2005, с. 72]. Его характеристика имеет непосредственное практическое значение при разработке планов использования геосистем, прогнозов их возможного изменения, природоохранных мер и рекомендаций.

Чувствительность геосистем (см. подписи к рис., п. IV) к внешнему воздействию рассматривается как величина обратно пропорциональная свойству саморегулирования и соответственно структурно-функциональным характеристикам геосистем [*Михеев,* 2001; *Кузнецова,* 2016]. Высокую чувствительность к внешнему воздействию имеют геосистемы экстремальных условий развития с низкой категорией саморегулирования. С одной стороны, это альпинотипные, субальпинотипные, гольцовые, подгольцовые и редколесные холодных влажных местоположений геосистемы преимущественно минимально и низкопродуктивные, а, с другой стороны, горные и равнинные полупустынные и сухостепные жарких и очень сухих местоположений низко- и минимально продуктивные геосистемы.

Природный экологический риск (ЭР) (см. подписи к рис., п. VI) рассматривается как «вероятность и степень опасности негативных изменений в структуре и функционировании природных и природно-антропогенных систем в случае спонтанного развития или антропогенного воздействия» [*Михеев,* 1998, с. 3]. Состояния геомов лимитированы конкретными характеристиками интегральной интенсивности функционирования (показателями тепла, влаги, биологической продуктивности) (см. подписи к рис., п. II). Они определяют их чувствительность к воздействию и категорию саморегулирования как способность сохранять и восстанавливать свою структуру. В условиях внешнего воздействия, в том числе антропогенного изменяются эколого-фитоценотические и гидротермические параметры геосистем, которые и определяют возможность трансформации их структуры [*Черкашин, Красноштанова,* 2011; *Кузнецова,* 2017].

Цепочка взаимосвязей между характеристиками геосистем «структура – функционирование – чувствительность – саморегулирование – ЭР» позволяет раскрывать способность природной системы противостоять действию внешних сил, которые могут вывести её из состояния равновесия. Например, максимально высокий уровень природного ЭР, имеют высокогорные гольцовые, подгольцовые, редколесные геосистемы с экстремальными значениями интегральной интенсивности функционирования, высокой чувствительностью к внешнему воздействию, очень низкой категорией саморегулирования.

Возможные изменения характера увлажнения природной среды. Специализированное исследование позволило установить возможные изменения условий природной среды в результате внешнего воздействия [*Кузнецова и др.,* 2009], исходя из их размерности, и с

учетом региональных и планетарных факторов территориальной организации геосистем. Картографическое отображение возможных изменений условий природной среды (см. подписи к рис., п. VIII) проводилось путем построения и совокупного сопряженного анализа содержания легенды карты (см. подписи к рис., п. I–VII), основывающихся на классификациях, предусматривающих динамическое начало. При этом прогнозируемое состояние рассматривалось как результат действия природных факторов и антропогенной нарушенности (см. подписи к рис., п. V) как конкретный временной вариант его структуры и функционирования.

Экологический потенциал (ЭП) (см. подписи к рис., п. IX) рассматривается как комплексная характеристика геосистем, которая, с одной стороны, определяет их потребительский потенциал, или способность обеспечивать условия существования людей, а, с другой стороны, устойчивость геосистем как способность восстанавливать свою структуру и функционирование после внешнего воздействия [*Кузнецова,* 2016]. В качестве индикаторов категорий ЭП используются параметры структуры, функционирования, чувствительности, саморегулирования, изменчивости геосистем, которые позволяют наиболее полно учитывать стабилизирующую динамику геосистем. Одновременно характеристики структуры (состав) и факторы функционирования (тепло-, влагообеспеченность, биологическая продуктивность) определяют ценностные свойства геосистем.

Категории благоприятности геосистем для жизнедеятельности людей (см. подписи к рис., п. X) определялись на основе сопряженного географического анализа совокупности характеристик геосистем «структура – функционирование – чувствительность – саморегулирование – изменчивость – ЭР». Наиболее благоприятными являются лугово-степные и подтаежные геомеры. Им соответствуют оптимальная интенсивность функционирования, высокие значения тепло обеспеченности с несколько недостаточным увлажнением, относительно низкая чувствительность к внешнему, в том числе антропогенному воздействию, высокая категория саморегулирования.

ВЫВОДЫ

Содержание цифровых тематических карт «Геосистемы Байкальского региона» и «Геоэкологическое зонирование Байкальского региона» масштаба 1:5 000 000, созданных на основе полисистемной геоэкологической концепции, полностью отвечает конструктивной направленности тематического содержания Атласа «Байкальский регион: общество и природа» и его акценту на отображение возможных последствий активного взаимодействия общества с природой.

Разработанные карты занимают важное место в единой информационной системе Атласа, с одной стороны, теоретическое – как отражающие основные закономерности и особенности пространственно-временной дифференциации природных условий обширной территории материка Евразия, а, с другой, практическое – как информационный базис создания нового поколения карт геосистем для познания потенциальных трансформаций природной среды региона.

Представленная система карт может стать основой постановки и решения задач не только потенциальных трансформаций природы, но также ее охраны и оптимального управления природопользованием в Байкальском регионе. Она может быть использована при разработке сценариев формирования пространственных структур благоприятной природной среды для улучшения качества жизни населения в условиях усиливающегося влияния факторов глобализации. Наряду с этим, могут быть разработаны системы картографических моделей для обеспечения решения текущих проблем управления природными рисками, чрезвычайными ситуациями в рамках экологической безопасности

взаимодействия общества с природными системами и разработки стратегии и тактики природопользования.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет средств государственного задания №АААА-А21-121012190063-2 и при финансовой поддержке Гранта РФФИ № 20-05-00253 А.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was done within the within the framework of a state assignment № AAAA-A21-121012190063-28 and with the partial financial support from the Russian Foundation for Basic Research № 20-05-00253 A.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Базилевич Н.И., Гребенщиков О.С., Тишков А.А.* Географические закономерности структуры и функционирования экосистем. Москва: Наука, 1986. 297 с.
2. *Батуев А.Р., Корытный Л.М.* Многоуровневое атласное экологическое картографирование (на примере Байкальского региона). География и природные ресурсы, 2018. № 4. С. 26–37.
3. *Батуев Д.А., Батуев А.Р., Бешенцев А.Н., Корытный Л.М.* Атласное картографирование Байкальского региона: структурно-семиотическая организация ИнтерКарто ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Мат-лы Междунар. конф., 2020. Т. 26, ч. 1. С. 385–399.
4. *Булаева Н.М., Мусихина Е.А., Михайлова О.С.* Информационная система мониторинга и комплексной экологической оценки природной среды регионов (на примере Иркутской области). Геоинформатика, 2015. № 1. С. 9–14.
5. *Волкова Е.А.* Зонально-поясные закономерности распределения растительности Монголии. Известия РГО. Т. 124. Вып. 6. 1992. С. 10–15.
6. *Григорьев А.А., Будыко М.И.* Связь балансов тепла и влаги с интенсивностью географических процессов. Докл. АН СССР, 1965. Т. 162. № 1. С. 151–154.
7. *Жиров А.И.* Геоэкология. Методика геоэкологических исследований. Ч. 2. Санкт Петербург: Издательство Российского государственного педагогического университета, 2002. 135 с.
8. *Иванов Н.И., Фомкин, И.В., Соловьев А.И.* Прогнозирование, планирование и организация территории административно-территориальных образований: методические указания и задания для РГР. Москва, 2009. 160 с.
9. *Исаченко А.Г.* Интенсивность функционирования и продуктивность геосистем. Изв. АН СССР. Сер. геогр. № 5. 1990. С. 5–17.
10. *Козин В.В.* Средовой подход в ландшафтной экологии. Вестник Тюменского университета, 2009. № 3. С. 4–8.
11. *Крауклис А.А.* Особенности географических градаций топического порядка. Топологические аспекты учения о геосистемах. Изд-во: Наука. Сиб. отд. Новосибирск, 1974. С. 87–138.
12. *Кузнецова Т.И.* Создание ГИС «Природная среда» на основе модификации картографической информации. Геодезия и картография, 2018. Т. 79. № 9. С. 20–29. DOI: 10.22389/ 0016-7126-2018-939-9-20-29.
13. *Кузнецова Т.И.* Анализ и картографирование чувствительности и экологической устойчивости геосистем для информационного обеспечения географического

прогноза (на примере бассейна оз. Байкал). Проблемы анализа риска. Т. 13. № 3. 2016. С. 28–39.
14. *Кузнецова Т.И.* Геосистемно-картографический анализ природных факторов экологического риска бассейна озера Байкал (в пределах России и Монголии). Безопасность жизнедеятельности, 2017. №7. С. 50–56.
15. *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.
16. *Михеев В.С.* Ландшафтно-географическое обеспечение комплексных проблем Сибири. Новосибирск: Наука, 1987. 206 с.
17. *Михеев В.С.* Ландшафтный синтез географических знаний. Новосибирск: Наука, 2001. 216 с.
18. *Михеев В.С.* Экологический риск: определение, сущность, содержание. Экологический риск: анализ, оценка, прогноз. Материалы Всероссийской конференции. Иркутск, 1998. 148 с.
19. *Назимова Д.И., Ермаков Н.Б., Андреева Н.М., Степанов Н.В.* Концептуальная модель структурного разнообразия зональных классов лесных экосистем Северной Евразии. Сибирский Экологический журнал. 2004. №5. С. 745–755.
20. *Поликарпов Н.П., Чебакова Н.М., Назимова Д.И.* Климат и горные леса Южной Сибири. Новосибирск: Наука, 1986. 215 с.
21. *Сочава В.Б.* Проблемы физической географии и геоботаники. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1986. 340 с.
22. *Сочава В.Б.* Теоретическая и прикладная география. Новосибирск: Наука, 2005. 287 с.
23. *Черкашин А.К., Красноштанова Н.Е.* Теоретическая картография и теория создания оценочных карт природных рисков. Геодезия и картография, 2011. № 3. С. 18–23.
24. *Hewitt K.* Regions of Risk: A geographical introduction to disasters. New York: Routledge, 2014. 410 p.
25. *von Haaren C.* Landschaftsplanung. Stuttgart: Ulmer, 2004. 527 p.

REFERENCES

1. *Batuev A.R., Korytny L.M.* Multilevel atlas ecological mapping (on the example of the Baikal Region). Geography and Natural Resources, 2018. No 4. P. 26–37. (in Russian).
2. *Batuev D.A., Batuev A.R., Beshentsev A.N., Korytny L.M.* Atlas mapping of the Baikal Region: structural and semiotic organization InterCarto InterGIS. Geo-information provision for sustainable development of the territories: Mat-ly Internar. Conf., 2020. T. 26, h. 1. P. 385–399. (in Russian).
3. *Bazilevich N.I., Grebenshhikov O.S., Tishkov A.A.* Geographic patterns of ecosystem structure and functioning. M.: Nauka, 1986. 297 p. (in Russian).
4. *Bulayeva N.M., Musikhina E.A., Mikhailova O.S.* Information System for Monitoring and Iintegrated Environmental Assessment of the Natural Environment of the Region (for example, the Irkutsk region). Geoinformatika, 2015. No 1. P. 9–14. (in Russian).
5. *Cherkashin A.K., Krasnoshtanova N.Ye.* Theoretical Cartography and Theory of Creating Estimating Maps of Natural Risks, Geodesy and Cartography. 2011. No 3. P. 18–23 (in Russian).
6. *Grigoriev A.A., Budyko M.I.* Connection of heat and moisture balance with the intensity of geographical processes. Dokl. AN SSSR, 1965. V. 162. No 1. P. 151–154 (in Russian).
7. *Hewitt K.* Regions of Risk: A geographical introduction to disasters. New York: Routledge, 2014. 410 p.

8. *Isachenko A.G.* The intensity of operation and productivity of geosystems. Izv. AN SSSR. – Ser. Geogr, 1990. No 5. P. 5–17 (in Russian).
9. *Ivanov N.I., Fomkin I.V., Soloviev A.I.* Forecasting, Planning and Organization of the Territory of Administrative-territorial Formations: Guidelines and Tasks for RGR. M., 2009. 160 p. (in Russian).
10. *Kozin V.V.* Environmental approach in landscape ecology. Bulletin of Tyumen University, 2009. No 3. P. 4–8 (in Russian).
11. *Krauklis A.A.* Features of geographical gradations of the topical order. Topological aspects of the theory of geosystems. Publishing house: Nauka. Sib. otd. Novosibirsk, 1974. P. 87–138 (in Russian).
12. *Kuznetsova T.I.* Geosystem-cartographic analysis of natural environmental risk factors in the Lake Baikal basin (within Russia and Mongolia). Life safety, 2017. No 7. P. 50–56 (in Russian).
13. *Kuznetsova T.I.* Analysis and mapping of sensitivity and ecological stability of geosystems for information support of geographical forecast (on the example of the lake basin. Baikal). Problems of risk analysis. V. 13. No 3, 2016. P. 28–39 (in Russian).
14. *Kuznetsova T.I.* Creation of GIS "Natural environment" on the basis of modification of cartographic information. Geodesy and Cartography, 2018. V. 79. No 9. P. 20–29. DOI: 10.22389/0016-7126-2018-939-9-20-29 (in Russian).
15. *Kuznetsova T.I., Batuev A.R., Bardash A.V.* Map «Natural landscapes of the Baikal region and their use»: purpose. structure, content. Geodesy and cartography, 2009. No 9. P. 18–28 (in Russian).
16. *Mikheev V.S.* Ecological risk: definition, essence, content. Environmental risk: analysis, assessment, forecast. Materials of the All-Russian Conference. Irkutsk, 1998. 148 p. (in Russian).
17. *Mikheev V.S.* Landscape and geographical support of complex problems of Siberia. Novosibirsk: Nauka, 1987. 206 p. (in Russian).
18. *Mikheev V.S.* Landscape synthesis of geographical knowledge. Novosibirsk: Nauka, 2001. 216 p. (in Russian)
19. *Nazimova D.I., Ermakov N.B., Andreeva N.M., Stepanov N.V.* Conceptual model of structural diversity of zonal classes of forest ecosystems in Northern Eurasia. Siberian Ecological Journal. No 5. 2004. P. 745–755 (in Russian).
20. *Polikarpov N.P., Chebakova N.M., Nazimova D.I.* Climate and mountain forests of Southern Siberia. Novosibirsk: Nauka, 1986. 215 p. (in Russian).
21. *Sochava V.B.* Problems of physical geography and geobotany. Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie, 1986. 340 p. (in Russian).
22. *Sochava V.B.* Theoretical and applied geography. Novosibirsk: Nauka, 2005. 287 p. (in Russian).
23. *Volkova E.A.* Zonal-zonal patterns of distribution of vegetation in Mongolia. Izvestiya RGO. T. 124. Issue 6. 1992. P. 10–15 (in Russian).
24. *von Haaren C.* Landschaftsplanung. Stuttgart: Ulmer, 2004. 527 p.
25. *Zhirov A.I.* Geoecology. Methodology of geoecological research. Part 2. St. Petersburg: Publishing House of the Russian State Pedagogical University, 2002. 135 p. (in Russian).