Гостева А.А.¹, Ерунова М.Г.², Савченко А.П.³

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ФОРМАЦИОННОГО СОСТАВА ЛЕСОВ ТЕРРИТОРИИ ЗАПОВЕДНИКА «СТОЛБЫ»

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассмотрены результаты геоинформационного картографирования формационного состава лесов территории заповедника «Столбы» для выявления динамики по данным лесоустройства 1948 и 1977 гг. Представлена ГИС-модель заповедника «Столбы», которая состоит из множества различных и разнородных многолетних данных экологического мониторинга. Проведена векторизация плана лесонасаждений заповедника от 1948 г. Описаны методы приведения ГИС-модели заповедника к единой картографической основе. Редактирование проводилось в пакете ESRI ArcGIS с помощью встроенного инструментария «Spatial Adjustment». В результате проведенного геоинформационного анализа определено произошедшие изменения формационного состава лесов на территории заповедника «Столбы» по ландшафтными местностям. Для проведения анализа изменений было использовано два набора данных, схожих семантически и описывающих территорию заповедника на двух этапах развития растительности с интервалом 29 лет. Определение произошедших изменений произведено посредством встроенных в ГИС оверлейных функций.

Динамика формационного состава лесов рассмотрена в рамках местностей, выделенных внутри горного ландшафта на основе природных особенностей – геологии, литологии, климата, отраженных в характере растительности. Это позволило увидеть дифференциацию процесса, связанного с восстановлением и развитием лесного покрова на территории заповедника. Отмечена определяющая роль высотной поясности для горного ландшафта, благодаря чему местности группируются в две группы: подтаежные сосново-лиственничные (на склонах) и горнотаежные лиственнично-елово-кедрово-пихтовые (на водоразделах и теневых склонах). Практическую ценность представляют результаты анализа, которые наглядно представлены в двух вариантах – табличных данных и набора аналитических карт.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ГИС, тематическое картографирование, оверлей, заповедник «Столбы», формационный состав леса.

¹ Сибирский федеральный университет, пр. Свободный, 79/10, 660041, Красноярск, Россия, e-mail: AGosteva@sfu-kras.ru

² Красноярский государственный аграрный университет, пр. Мира, д. 90, 660049, Красноярск, Россия, e-mail: marina.erunova@gmail.ru

³ ООО «Газпром геологоразведка», ул. Герцена, д. 70, 625000, Тюмень, Россия, e-mail: apilina@mail.ru

Anna A. Gosteva¹, Marina G. Erunova², Anastasia P. Savchenko³

GEOINFORMATION MAPPING OF THE DYNAMICS OF THE FOREST FORMATION COMPOSITION AT THE STOLBY RESTRICTED NATURE RESERVES

ABSTRACT

The results of geoinformation mapping of the forests formational composition at the Stolby territory based on the forest inventory data between 1948 and 1977 are presented. The GIS model of the Stolby Reserve consists of many different and diverse long-term environmental monitoring data. The vectorization of the forest inventory plan since 1948 has been performed.

The methods of adjustment of the GIS model of the reserve to a unified cartographic basis are described. The editing has been done in the software ESRI ArcGIS by using the built-in tool "Spatial Adjustment". For the first time, the changes in the forests formational composition have been determined on the basis of the geoinformation analysis. To evaluate the changes, the two different sets of data, which are similar semantically and describing the reserve territory at two stages of vegetation developing, have been used. The definition of the resulting changes was made by means of the overlay functions built into the GIS.

The dynamic of forests formation composition is considered within the bounds of the areas separated within the mountain landscape based on natural features – geology, lithology, climate – which are reflected in the pattern of the vegetation. This allowed us to see the differentiation of the process associated with the restoration and development of the forest cover at the reserve territory. The key role of the altitudinal zonation of the mountain landscape is revealed. The terrains can be separated into two groups: subtaiga pine-larch forests (on the slopes) and mountain taiga larch- spruce-siberian pine-fir (on the watersheds and shady slopes).

The results of the analysis visually represented in two variants – tabular data and a set of analytical maps have a practical importance.

KEYWORDS: GIS, thematic mapping, overlay, Stolby restricted nature reserves, forests formation composition.

ВВЕДЕНИЕ

Заповедником является особо охраняемая территория, полностью или частично исключенная из хозяйственного использования в целях сохранения природных комплексов, охраны видов животных и растений, а также наблюдения за природными процессами. В соответствии с Федеральным законом от 14 марта 1995 г. № 33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях» государственные природные заповедники являются природоохранными, научно-исследовательскими и эколого-просветительскими учреждениями, имеющими целью сохранение и изучение естественного хода природных процессов и явлений, генетического фонда растительного и животного мира, отдельных видов и сообществ растений и животных, типичных и уникальных экологических систем [<http://docs.cntd.ru/document/9010833>].

Государственный природный заповедник «Столбы» основан в 1925 г. по инициативе жителей города для сохранения природных комплексов вокруг живописных сиенитовых останцев – «столбов» [Козлов, 1958]. Научные исследования, начатые практически

¹ Siberian Federal University, 79 Svobodny pr., 660041, Krasnoyarsk, Russia, e-mail: AGosteva@sfu-kras.ru

² Krasnoyarsk State Agrarian University, 90 Mira pr., 660049, Krasnoyarsk, Russia, e-mail: marina.erunova@gmail.ru

³ ООО "Gazprom geologorazvedka", 70 Gertsena str., 625000, Tyumen, Russia, e-mail: apilina@mail.ru

одновременно с образованием заповедника, дали материалы, которые позволяют сейчас и в будущем следить за динамикой процессов в природной среде.

В последние десятилетия в целях мониторинга экологического состояния под действием атмосферного загрязнения на территории заповедника «Столбы» проводятся систематические наблюдения за состоянием различных компонент экосистемы [Коловский, 2001]. Мониторинг охватывает локальную территорию, включающую сам заповедник и его ближайшие окрестности. Наблюдается изменение растительного покрова ГПЗ «Столбы», связанное с разными факторами (естественными и антропогенными). Кроме того, может сказываться глобальное изменение климата, которое влечет изменение лесного покрова.

Географические информационные системы (ГИС), компьютерные карты местности и связанные с ними базы данных все чаще применяются в заповедном деле как для проведения научных исследований, так и для осуществления природоохранных мероприятий.

Геоинформационное картографирование для выявления динамики формационного состава лесов территории заповедника «Столбы» включало решение следующих ключевых вопросов:

1. Векторизация плана ГПЗ «Столбы» 1948 г.
2. Приведение данных к единой картографической основе.
3. Геоинформационный анализ динамики формационного состава лесов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования

Государственный природный заповедник «Столбы» расположен в черте крупного промышленного города (г. Красноярск) и занимает площадь 472 кв. км. Территория расположена вблизи пригородов Красноярска, в непосредственной близости к правому берегу Енисея, между его притоками – Базаиха, Мана и Большая Слизнева. Территория Восточного Саяна, где расположен заповедник, характеризуется двумя высотными поясами: низкогорный (от 200 до 500 м над уровнем моря) и высокогорный (от 500 до 800 м) [Козлов, 1958]. Верхний пояс по характеру растительного покрова является поясом темнохвойной тайги (пихта, ель, кедр), а нижний – поясом лиственно-светлохвойных лесов (сосна, лиственница, береза и осина).

ГИС-модель заповедника

В 1999–2006 гг. разработана и внедрена ГИС-модель заповедника «Столбы», позволяющая аккумулировать в себе многолетние данные экологического мониторинга и проводить геоинформационный анализ по выявлению различных взаимосвязей и закономерностей [Erunova et al., 2006]. Цифровая модель территории содержит слои: изолинии высот, граница заповедника, столбы, скальные останцы, крупные и мелкие реки, ручьи, лесные дороги, пешеходные тропы, кордоны, квартальная сетка заповедника, высотные отметки, растительный покров, почвенный покров. Модель территории заповедника включает в себя более 50 тематических карт, в том числе физико-географическая карта, карта растительного покрова (представлена результатами лесоустройства 1977 г.), почвенная карта, карты распределения тяжелых металлов и фтора на территории заповедника в лесной подстилке, в почвенном покрове, в зимних осадках и в хвое темнохвойных пород, суммарные карты распределения поллютантов в каждой компоненте экосистемы заповедника. Существует электронный экологический атлас заповедника «Столбы», который включает все перечисленные тематические карты [Экологический атлас заповедника «Столбы», <http://stolby.torins.ru/>].

Векторизация плана ГПЗ «Столбы» 1948 г.

Проведение анализа динамики формационного состава лесов территории заповедника «Столбы» проводилось на основе данных лесоустройства 1948 и 1977 гг. План лесонасаждений ГПЗ «Столбы» от 1948 г. был векторизован. Результатом проделанной работы

являются топологически корректные слои, отображающие данные, актуальные на 1948 г. о границе заповедника «Столбы», его квартальной сети, речной сети, скалах и растительности [Гостева, 2010].

Приведение данных к единой картографической основе

Единая картографическая основа – это комплексная система цифровых картографических материалов, согласованных по территориальному охвату, содержанию, формату, масштабам, системам условных знаков, классификаторам [Дубровский, 2013].

При рассмотрении планов ГПЗ «Столбы» за 1948 и 1977 гг. выяснилось, что условия топологической корректности и наличия семантики соблюдены, однако, нет соответствия условию приведения всех данных в единую систему координат: имеется погрешность в векторной привязке к географическим координатам, недопустимая для проведения дальнейшего сравнительного анализа. Было принято решение свести проекты к единой привязке векторных моделей к географической системе координат. Для этого необходимо было сравнить данные, полученные из различных источников и выбрать оптимальный вариант.

Приведение векторных моделей к единой картографической основе осуществлялось в несколько этапов. Первым этапом при редактировании привязки к географической системе координат была коррекция плана ГПЗ «Столбы» от 1977 г. Редактирование проводилось в пакете ESRI ArcGIS с помощью встроенного инструментария «SpatialAdjustment». Методом трансформации был выбран метод «Резинового листа», который основывается на локально-аффинных преобразованиях. Аффинные преобразования – точечные взаимно однозначные отображения плоскости (пространства) на себя, при которых прямые переходят в прямые [Капралов, 2004]. Опорными точками послужили устья мелких рек и ручьев, изгибы крупных рек и легко определяемые точки на границе заповедника. Были использованы около двухсот опорных точек.

Вторым этапом была коррекция плана от 1948 г. При ее осуществлении очень важным было сопоставить квартальную и речную сети между 1948 и 1977 гг. Поэтому основными опорными точками послужил каждый узел квартальной сети, линии границ кварталов, устья мелких рек и ручьев, изгибы крупных рек. Аналогично, как и в предыдущем преобразовании, были использованы метод «Резинового листа» и около двухсот опорных точек.

После проведения всех трансформаций погрешность между основными узлами векторных слоев планов от 1948 и 1977 гг. составляет не более 30 м. Данные отображены в проекции UTM Zone 46N.

Геоинформационный анализ динамики формационного состава лесов

Современные ГИС имеют в своем арсенале достаточно широкий набор средств анализа пространственных данных и обработки атрибутивной информации, что позволяет использовать ГИС для моделирования процессов, протекающих в окружающей среде. Последние достижения в информационных технологиях дают возможность проводить на более высоком уровне мониторинг окружающей среды, анализировать и моделировать различные ситуации как техногенного, так и природного характера.

Геоинформационные данные носят временной характер. Для проведения анализа изменений было использовано два набора данных, схожих семантически и описывающих территорию заповедника на двух этапах развития растительности. Определение произошедших изменений произведено посредством встроенных в ГИС оверлейных функций.

При помощи оверлейных операций был создан новый полигональный слой, каждому объекту слоя были присвоены атрибуты, содержащий данные об изменениях, произошедших на этой территории, а также площадные характеристики. На основе этих атрибутов созданы карты, демонстрирующие смену производных формаций на коренные и смену коренных

формаций друг на друга. В рамках смены производных формаций рассмотрены смена березы и осины на ель, сосну, пихту и лиственницу. В рамках смены коренных формаций – ель, лиственница, сосна, пихта. Все значения были вычислены в программном пакете ESRI ArcGIS.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Структура растительного покрова рассмотрена в соответствии с ландшафтной структурой, которая рассмотрена на разных уровнях иерархии: высотный ландшафтный пояс, местность, тип лесорастительных условий.

Местность – морфологическая единица ландшафта, природно-территориальный комплекс. Является наиболее крупной морфологической частью ландшафта. Ведущими признаками обособления местностей служат рельеф или характер его расчленения. Местность не является обязательным элементом морфологической структуры ландшафта [Исаченко, 1991].

В работе Д.И. Назимовой и др. описывается 9 местностей, выделенных в соответствии с этими принципами [Назимова и др., 2010]. На рис. 1 показано их географическое расположение, каждой местности присвоен номер и название:

1. Местность № 1 «Столбинская».
2. Местность № 2 «Приенисейская».
3. Местность № 3 «Слизневская».
4. Местность № 4 «Калтатская».
5. Местность № 5 «Кайдынская».
6. Местность № 6 «Манская».
7. Местность № 7 «Абатакская».
8. Местность № 8 «Инжульская».
9. Местность № 9 «Сынжульская».

Рис. 1. Ландшафтные местности заповедника «Столбы»
Fig. 1. Landscape sites of the Stolby restricted nature reserves

В заповеднике отчетливо выступает вертикальная зональность – два почвенно-растительных пояса:

1. Пояс низкогорных светлохвойных (сосново-лиственничных) лесов на горных серых лесных почвах;
2. Пояс среднегорной темнохвойной (пихтовой) тайги на горных подзолистых почвах.

Между ними различается переходный пояс сосново-лиственничных лесов с примесью пихты, ели, кедра (подтайга). Кроме того, в пределах среднегорного пояса выделяется массив интразональных сосновых лесов, связанных с выходами сиенита.

Неоднородность растительного покрова значительно усложняется сильно расчлененным рельефом. К тому же природный облик растительности, особенно по окраинам заповедника, сильно нарушен (беспорядочная рубка и многократные пожары в прошлом). Центральная, горно-таежная часть изменена меньше, но там совершенно ясно выступают процессы смены лиственничных насаждений темнохвойной тайгой, что, по-видимому, обусловлено общеклиматическими причинами.

Теоретической основой для построения легенды, отвечающей данным задачам, нам послужили принципы эколого-генетических классификаций. Общими положениями для них являются:

1. Признание в качестве ведущего лесообразующего фактора среды леса, наиболее важные признаки и свойства которой должны вводиться в его характеристику как определяющие все остальные;

2. Понимание типа леса как совокупности коренного и всех возникших из него производных насаждений (изменения древостоя или покрова в процессе смен разрушения-восстановления).

Таким образом, типы леса выделяются на основе эколого-генетического принципа, т. е. в один тип леса объединены насаждения, внешне разнородные, но связанные между собой единой цепью развития и общностью лесорастительных условий. Типы леса объединяются нами в типы лесных участков по общности их экотопов.

Экотоп (от греч. *oikos* – жилище и *topos* – место), биотоп, косная среда биогеоценоза, совокупность его абиотических компонентов. Эти компоненты подразделяются на почвенную (эдафотоп) и надземную (аэротоп, климатоп) среды. Последние в пределах одного экотопа характеризуются небольшими градиентами изменения параметров многих физических и химических процессов. По отношению к биоценозу экотоп является внешней средой, поэтому понятие «местообитание сообщества» аналогично понятию «экотоп». Представление об экотопах широко используется в лесной типологии, при классификации типов леса и особенно типов условий местопроизрастания [Буторина, 1966].

Для того чтобы отразить на карте с максимально возможной полнотой характеристику лесов заповедника (их современное состояние, связь с условиями среды, динамику) и выделить коренные насаждения, используются различные приемы: цвет, его интенсивность, штриховка, индекс.

Тематическая карта плана лесонасаждений от 1948 г. была создана на основе типа растительности. Были выделены следующие типы: сосна, ель, береза, осина, пихта, лиственница. Макет отчета, содержащий в себе название карты, тематическую карту, легенду, стрелку, указывающую на север, шкалу масштаба, градусную сетку, построен в программном пакете ArcGIS.

Во время выполнения работы на основе двух имеющихся тематических карт, отображающих формационный состав растительности заповедника в разные периоды времени, посредством встроенных средств программного пакета ArcGIS был создан набор аналитических карт, отображающий изменения, произошедшие за данный период времени в рамках вышеописанных местностей.

Для оценки изменений, произошедших на территории заповедника в составе формационного состава, было принято решение использовать количественную характеристику, отражающую площадь в гектарах смены одной породы на другую в рамках каждой из местностей. Все значения были вычислены в программном пакете ESRI ArcGIS посредством встроенного инструмента «Вычислить геометрию». После чего данные были

экспортированы в программный продукт Microsoft Excel, где и были вычислены суммарные значения.

Таблица 1. Площади изменения производной формации «береза» на коренные, га
Table 1. Changes area of secondary birch formation

Местность	Береза → Ель	Береза → Сосна	Береза → Пихта	Береза → Лиственница
1	3,90	62,06	26,04	15,63
2	1,42	284,79	0,37	14,04
3	5,54	5,81	12,38	1,17
4	83,88	20,45	197,60	13,88
5	0,15	5,99	32,78	10,34
6	36,01	570,95	87,71	19,02
7	42,18	59,17	7,72	8,47
8	89,63	136,07	31,73	18,88
9	0	24,83	0	4,75

При помощи оверлейных операций был создан новый полигональный слой, каждому объекту слоя были присвоены атрибуты, содержащие данные об изменениях, произошедших на этой территории, а также площадные характеристики. На основе этих атрибутов созданы карты, демонстрирующие смену производных формаций на коренные и смену коренных формаций друг на друга. В рамках смены производных формаций рассмотрены смена березы и осины на ель, сосну, пихту и лиственницу. В рамках смены коренных формаций – ель, лиственница, сосна, пихта.

На рис. 2 в качестве примера приведена аналитическая карта для местности № 1 по смене производной формации «береза» на коренные (ель, лиственница, пихта, сосна). Для каждой местности построено 6 аналитических карт, отражающих смену производных формаций растительности на коренные формации, а также смену коренных формаций друг на друга.

На рис. 3 в качестве примера приведена аналитическая карта для местности № 5 по смене коренной формации «пихта» на другие коренные (ель, лиственница, сосна), а в табл. 2 рассчитаны площади смены формации «пихта» для всех местностей.

Всего было получено 54 каты, позволивших сделать выводы о динамике формационного состава лесов заповедника.

Таблица 2. Площади изменения коренной формации «пихта» на другие
Table 2. Changes area of oldgrow fir formation to another formation

Местность	Пихта → Ель, га	Пихта → Лиственница, га	Пихта → Сосна, га
1	74,05	78,87	294,46
2	4,56	21,54	35,32
3	384,86	355,43	473,63
4	152,43	70,17	258,88
5	221,90	411,03	161,07
6	60,06	73,56	378,27
7	45,22	69,95	108,10
8	184,08	89,33	372,04
9	5,27	7,54	3,87

Для каждой местности были проанализированы произошедшие изменения в формационном составе на основе аналитических карт.

Местность № 1 «Столбинская». На территории выбранной местности произошло значительное замещение лиственных производных формаций светлохвойными и темно-

хвойными коренными, причем большая часть была замещена светлохвойной формацией «сосна». Также на площади более чем сто гектаров было определено замещение пихтарников сосняками, что подтверждает господство сосны.

Местность № 2 «Приенисейская». На территории этой местности значительное замещение лиственных производных формаций светлохвойными и темнохвойными коренными, причем большая часть была замещена светлохвойной формацией «сосна». При этом наблюдается активное замещение сосняков лиственничниками.

Местность № 3 «Слизневская». На территории выбранной местности произошло значительное замещение осинников пихтарниками, при этом на севере территории низкая поясность – активное замещение самих пихтарников другими коренными формациями на, примерно одинаковом количестве площадей.

Местность № 4 «Калтатская». На территории наблюдается безраздельное господство пихтарников, развитие и замещение ими всех других формаций.

Местность № 5 «Кайдынская». На территории местности наблюдается активное развитие ельников и пихтарников, кроме того, на площади более чем пятьсот гектаров код становится господствующей породой. Происходит замещение производных формаций коренными.

Местность № 6 «Манская». Местность является самой крупной в составе заповедника. За рассматриваемый промежуток времени произошло замещение некоренных формаций сосняками. Сосна остается господствующей породой. На территории между реками Б. Индей и М. Индей наблюдается развитие лиственничников.

Местность № 7 «Абатакская». На территории наблюдается господство сосняков и замещение ими других производных и коренных формаций. В западной части местности на низких высотах наблюдается развитие лиственничников.

Местность № 8 «Инжульская». На территории наблюдается распределенное развитие лиственничников, а также смена осинников коренными формациями.

Местность № 9 «Сынжульская». На территории наблюдается господство сосняков и замещение ими других производных и коренных формаций. На западе местности наблюдается развитие осинников на площади порядка 100 га.

Кроме того, общим для всей территории заповедника можно выделить развитие ельников и преобладание их над всеми другими породами в руслах рек.

Рис. 2. Смена производной формации «береза» в местности 1
Fig. 2. Landscape sites 1: changes in the secondary formation of birch

Рис. 3. Смена коренной формации «пихта» в местности 5

Fig. 3. Landscape sites 5: changes in the formation of fir

ВЫВОДЫ

Проведен геоинформационный анализ изменений в составе формационного состава на территории заповедника «Столбы». Изменения рассмотрены в рамках местностей, выделенных внутри горного ландшафта на основе природных особенностей – геологии, литологии, климата, отраженных в характере растительности. Это позволило увидеть дифференциацию процесса, связанного с восстановлением и развитием лесного покрова на территории заповедника. Отмечена определяющая роль высотной поясности для горного ландшафта, благодаря чему местности группируются в две группы: подтаежные сосново-лиственничные (на склонах) и горнотаетные лиственнично-елово-пихтовые (на водоразделах и теневых склонах). Первые включают местности Столбинскую, Приенисейскую, Манскую, Сынжувскую, а вторые – Калтатскую, Кайданскую, Слизнавскую, Инжувскую, причем, последние две носят переходный характер. Если в первой группе ход динамики направлен в сторону укрепления и расширения светлохвойных формаций (сосны), но во второй – в сторону темнохвойных (пихты).

В рамках анализа рассмотрена смена производных формаций растительности на коренные формации, а также смена коренных формаций друг на друга. Сделана попытка связать ход смен с геологическим строением местностей, что раньше было невозможно из-за отсутствия соответствующих картографических материалов и опубликованных данных.

Результаты анализа наглядно представлены в двух вариантах – табличных данных и наборе из 54 аналитических карт. В таблицах содержится информация о площадях произошедших изменений. Аналитические карты отражают смену одной формации на другие, рельеф территории, речную сеть.

В дальнейшем работа по изучению динамики может быть продолжена с использованием данных лесоустройства заповедника за 2006 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буторина Т.Н. К характеристике лесорастительных условий Государственного заповедника «Столбы» // Труды Государственного заповедника «Столбы». 1966. Т. 3. С. 248–282.

2. *Гостева А.А., Ерунова М.Г., Ильина А.П.* Векторизация плана лесоустройства заповедника «Столбы» 1948 года // Труды государственного заповедника «Столбы». 2010. Т. 19. С. 39–47.
3. *Дубровский А.В.* Геоинформационные системы: управление и навигация: Учеб.-метод. пособие. Новосибирск: СГГА, 2013. 96 с.
4. *Исаченко А. Г.* Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М.: Высшая школа, 1991. 366 с.
5. *Капралов Е.Г., Кошкарёв А.В., Тикунов В.С. и др.* Основы геоинформатики. Кн. 1. М.: Изд-во «Академия», 2004. 352 с.
6. *Козлов В.В.* Государственный заповедник «Столбы» // Труды государственного заповедника «Столбы». 1958. Т. 1. С. 45–57.
7. *Коловский Р.А., Бучельников М.А.* Биоиндикация в заповеднике «Столбы»: оценка и прогноз // Труды государственного заповедника «Столбы». 2001. Т. 17. С. 226–244.
8. *Назимова Д.И., Первунин В.А., Тропина Е.Ф., Ерунова М.Г.* Ландшафтно-лесотипологическая структура заповедника // Труды государственного заповедника «Столбы». 2010. Т. 19. С. 16–38.
9. *Erunova M.G., Sadovsky M.G., Gosteva A.A.* GIS-aided simulation of spatially distributed environmental processes at "Stolby" State Reservation, Ecological Modelling. 2006. T. 195, № 3–4. С. 296–306.

REFERENCES

1. *Butorina T.N.* Characteristic of the forest conditions of the "Stolby" State Reservation. Trudy Gosudarstvennogo zapovednika "Stolby". 1966. T. 3. P. 248–282 (in Russian).
2. *Dubrovsky A.V.* Geoinformation systems: management and navigation: ucheb.-metod. posobiye. Novosibirsk: SSGA, 2013. 96 p. (in Russian).
3. *Erunova M.G., Sadovsky M.G., Gosteva A.A.* GIS-aided simulation of spatially distributed environmental processes at "Stolby" State Reservation, Ecological Modelling. 2006. T. 195, No 3–4. P. 296–306.
4. *Gosteva A.A., Erunova M.G., Ilina A.P.* Vectorization of the forest inventory data for the the Stolby restricted nature reserves in 1948. Trudy gosudarstvennogo zapovednika "Stolby". 2010. V. 19. P. 39–47 (in Russian).
5. *Isachenko A.G.* Landscape science and physico-geographical zoning. M.: Vysshaya shkola, 1991. 366 p. (in Russian).
6. *Kapralov Ye.G., Koshkarev A.V., Tikunov V.S. et al.* Fundamentals of Geoinformatics. Book 1. M.: "Akademiya", 2004. 352 p. (in Russian).
7. *Kolovskiy R.A., Buchel'nikov M.A.* Bioindication in the Stolby Reserve: assessment and forecast. Trudy Gosudarstvennogo zapovednika "Stolby". 1966. V. 17. P. 226–244 (in Russian).
8. *Kozlov V.V.* "Stolby" State Reservation. Trudy gosudarstvennogo zapovednika "Stolby". 1958. V. 1. P. 45–57 (in Russian).
9. *Nazimova D.I., Pervunin V.A., Tropina Ye.F., Erunova M.G.* Landscaping and forest typology of the reserve. Trudy gosudarstvennogo zapovednika "Stolby". 2010. T. 19. P. 16–38 (in Russian).