

УДК: 631.48:004.932

DOI: 10.35595/2414-9179-2020-4-26-131-146

И.А. Самофалова<sup>1</sup>

## ГЕОМОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА ТЕРРИТОРИИ ЗАПОВЕДНИКА «БАСЕГИ» (СРЕДНИЙ УРАЛ)

### АННОТАЦИЯ

В современных условиях существует объективная необходимость развития ГИС в работе заповедников и национальных парков России для повышения качества решения научных и природоохранных задач. Цель исследования — используя метод обобщённого пространственного анализа, провести геомоделирование почвенного покрова для территории заповедника «Басеги» (хребет Басеги, Средний Урал). Для проведения исследований использовали топографические карты, космические снимки с высоким пространственным разрешением — до 5 м; программное обеспечение ГИС; данные почвенных разрезов. В ходе работы обрабатывались большие массивы пространственно-распределённых данных, что вызвало необходимость структурирования информации и создания баз данных. На основе цифровой модели рельефа определены границы геосистем водосборных бассейнов и высотно-растительных формаций. Для каждой растительной группировки выделяется наиболее благоприятный интервал высот для их развития. В пределах водосборных бассейнов рек выделены элементы их структурной организации: речные русла, внутренняя долина, склоновые поверхности водосбора, водосборные воронки, фанды, дуги. Установлено, что более активно бассейнообразование происходит на западных склонах хребта, что приводит к «деформации» структуры сложившейся высотной поясности почвенно-растительного покрова. Для территории заповедника «Басеги» созданы электронные тематические карты по основным факторам почвообразования. На основе обобщённого пространственного анализа установлены индикационные связи между растительностью, высотой местности, экспозицией и крутизной склонов, структурными элементами водосборного бассейна реки, почвами. Почвенные контуры для всей территории оцифровывались по космическим снимкам, автоматизированным методом дешифрирования данных дистанционного зондирования, с учётом всех факторов почвообразования.

Геомоделирование почвенного покрова на основе обобщённого пространственного анализа территории заповедника «Басеги» позволило создать модель структурной организации почв в пространстве. Совместное применение бассейнового метода и геоинформационных технологий дают высокую точность (80–90 %) при использовании их для сложных природных условий.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** почвенный покров, водосборный бассейн, ГИС, карта

---

<sup>1</sup> Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова, Факультет почвоведения, агрохимии, экологии и товароведения, ул. Петропавловская, д. 23, 614990, Пермь, Россия; e-mail: samofalovairaida@mail.ru

**Iraida A. Samofalova<sup>1</sup>**

**GEOMODELING OF SOIL COVER  
ON THE BASIS OF GENERALIZED SPATIAL ANALYSIS  
TERRITORIES OF THE “BASEGI” RESERVE (MIDDLE URAL)**

**ABSTRACT**

In modern conditions, there is an objective need for the development of GIS in the work of nature reserves and national parks of Russia to improve the quality of solving scientific and environmental problems. The purpose of the study was to use geo-modeling of the soil cover for the territory of the “Basegi” Reserve (the Basegi Range, Middle Urals) using the method of generalized spatial analysis. For research, topographic maps, satellite images with high spatial resolution of up to 5 meters were used; GIS software; soil section data. In the course of work, large arrays of spatially distributed data were processed, which necessitated the structuring of information and the creation of databases. Based on the digital elevation model, the boundaries of geosystems of catchment areas and high-altitude plant formations are determined. For each plant group, the most favorable height range for their development is distinguished. Within the catchment areas of the rivers, the elements of their structural organization are distinguished: river channels, inner valley, sloping surfaces of the catchment, drainage funnels, fans, arcs. It has been established that basin formation is more active on the western slopes of the ridge, which leads to a “deformation” of the structure of the existing altitudinal zonation of the soil and vegetation cover. Electronic thematic maps on the main soil formation factors have been created for the territory of the “Basegi” Reserve. Based on a generalized spatial analysis, indicative relationships are established between vegetation, elevation, exposure and slope steepness, structural elements of the river catchment, and soils. Soil contours for the entire territory were digitized using satellite images, an automated method of decoding remote sensing data, taking into account all factors of soil formation.

Geo-modeling of the soil cover on the basis of a generalized spatial analysis of the territory of the “Basegi” Reserve has allowed us to create a model of the structural organization of soils in space. The combined use of the basin method and geographic information technologies give high accuracy (80–90 %) when used for difficult natural conditions.

**KEYWORDS:** soil cover, river catchment, GIS, map

**ВВЕДЕНИЕ**

ООПТ не имеют единой системы хранения данных, и это не позволяет проводить сравнение данных в разных ООПТ, оценивать и прогнозировать степень определённого антропогенного воздействия на охраняемую территорию. В конце 1990-х гг. в ряде заповедников и национальных парков России начали внедряться геоинформационные системы, обладающие широкими возможностями. Применение ГИС способствует повышению качества решения научных и природоохранных задач перед российской системой ООПТ, т.к. помогают выявлять структуру экосистем на основе разрозненных данных по их компонентам. В некоторых ООПТ с помощью ГИС решают задачи создания условий для регулируемого туризма и отдыха, предоставления справочной информации о территории и инфраструктуре ООПТ, зонирования ООПТ, обработки и анализа данных

---

<sup>1</sup> Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov, Faculty of Soil Science, Agrochemistry, Ecology and Commodity Research, Petropavlovskaya str., 23, 614990, Perm, Russia;  
*e-mail: samofalovairaida@mail.ru*

мониторинга с целью оценки экологического состояния территории и разработки природоохранных мероприятий, создания и ведения экологических баз данных, моделирования и прогнозирования экологических ситуаций, анализа данных о благоустройстве различных участков ООПТ, проектирования ООПТ [Самофалова, Шутов, 2015; Отбоева, Жалсараева, 2016; Самофалова, 2019 (а)]. ГИС позволяют строить и использовать цифровые модели рельефа и пространственные модели местности для изучения экосистем [Бахарев и др., 2015; Калюжная и др., 2019; Чащин, Кондратьева, 2019]. Исследование данных с помощью ГИС позволяет установить иерархию биоценологических связей, которые необходимо знать для разработки прогностических моделей [Мудрых, Яшина, 2015; Самофалова, 2019 (б); Черкасов и др., 2019].

Таким образом, в современных условиях существует объективная необходимость развития, дальнейшего совершенствования ГИС в работе заповедников и национальных парков России. В целом природоохранные ГИС решают задачи инвентаризации и мониторинга, оценки и прогноза, планирования и управления.

Особо охраняемые природные территории относятся к объектам общенационального достояния. На сайте Министерства природных ресурсов в электронном виде представлен ГИС-атлас «Недра России», а также проект «Картографическая база данных по федеральным ООПТ России», разрабатываемая Институтом мировых ресурсов, Международным социально-экологическим союзом и Центром охраны дикой природы. Региональные ГИС имеют ООПТ Ленинградской области, ГНЦ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», ИАС «Морские и прибрежные ООПТ РФ». ГИС в своей работе используют Центрально-Лесной государственный биосферный заповедник, Алтайский заповедник, «Катунский» биосферный заповедник, НП «Водлозерский», НП «Хвалынский», НП «Лосиный остров», НП «Угра», НП «Тункинский», НП «Калевальский», государственный заповедник «Вишерский» и т.д.

Сложность изучения почвенного покрова в труднодоступных районах состоит в том, что трудно предсказать тип почвы, не опираясь на количественные и качественные данные полевых измерений. Перспективным направлением в исследованиях за рубежом является комплексный подход, т.е. интеграция космического мониторинга и пространственного анализа в ГИС для создания различных моделей [Singh et al., 1997; Zhao et al., 2003; Yan et al., 2004; Petty, Barker, 2004; Petty et al., 2010]. Эффективным способом информационного обеспечения мониторинга экологической ситуации любой территории является создание проблемно-ориентированных бассейновых ГИС [Maximovich, Gorbunova, 1990; Gray, Harding, 2012; Khayrulina et al., 2016; Maksimovich et al., 2017], преимуществом которых является использование водосборов рек как операционно-территориальной единицы для оценки состояния экосистемы [Трифонова, 1999; Самофалова, Шутов, 2017; Ermolaev et al., 2017]. Использование бассейнового подхода и ГИС-технологий позволяют решить различные проблемы с помощью интерполяции и математического моделирования. Геопространственный анализ на основе бассейнового подхода позволяет выделить границы бассейнов по цифровым моделям рельефа [Трифонова, 1999; Ермолаев и др., 2014]. Особенность современных исследований почвенного покрова заключается в преобладании системного, общеэкологического подхода, увязке структуры почвенного покрова с компонентами ландшафта. Такой подход значительно расширяет возможности для решения задач мониторинга и природоохранного проектирования [Молчанов, 1999; Савин, 2003; Мудрых, Яшина, 2015; Самофалова, Шутов, 2017; Samofalova, 2017].

Цель исследования — провести геомоделирование почвенного покрова территории заповедника (хребет Басеги, Средний Урал) с помощью обобщённого пространственного анализа.

Задачи:

- изучить картографические материалы и создать электронные карты рельефа, экспозиций, уклонов, растительности, гидрографической сети, литоводосборных бассейнов, элементов структуры литоводосборных бассейнов;
- выявить закономерности изменения факторов почвообразования в пространстве и индикационные связи между растительностью, высотой местности, экспозицией и крутизной склонов, элементами структуры литоводосборных бассейнов рек, почвами;
- выявить особенности формирования почвенного покрова;
- построить почвенную карту для территории заповедника с помощью ГИС-технологий;
- определить структуру почвенного покрова в пространстве.

Проведение исследований по данной теме предполагает на первом этапе выделение литоводосборных бассейнов, что позволит выделить основные геосистемы на этой основе. Далее с учётом распределения в пространстве основных природных компонентов горных ландшафтов проводится геомоделирование почвенного покрова территории.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на территории заповедника «Басеги», в состав которого целиком входит хр. Басеги (Средний Урал). Высота местности варьирует от 315 до 954 м н.у.м. Хребет Басеги — это горная гряда, залегающая западнее от водораздельной части Урала между 58°50' и 60° с.ш. В административном отношении заповедник находится в Пермском крае — в междуречье рр. Усьвы и Вильвы (58°45'–59°00' с.ш., 58°15'–58°38' в.д.) в пределах Волжско-Камского бассейна, входящего в бассейн Каспийского моря (рис. 1).

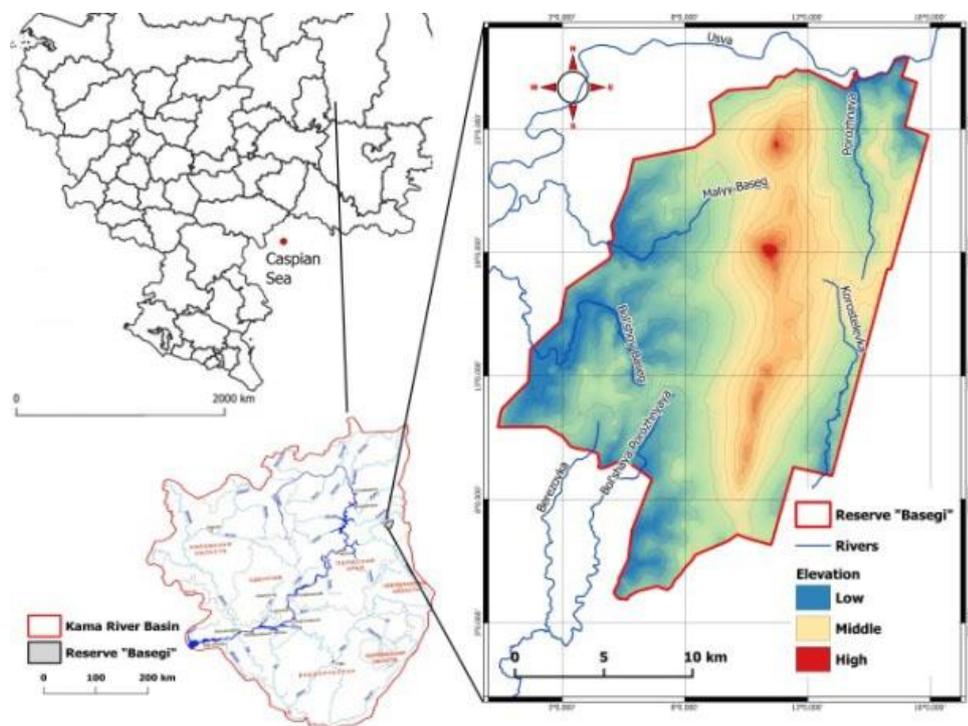


Рис. 1. Объект исследования — Государственный заповедник «Басеги» (Волжско-Камский бассейн)

Fig. 1. Object of study — “Basegi” State Reserve (Volga-Kama basin)

Хребет Басеги относится к низкогорной области Среднего Урала к Вишерско-Чусовскому краевому поднятию. Основу орографического плана территории заповедника составляет хр. Басеги, протянувшийся в соответствии с тектоническим строением в меридиональном направлении. Хребет представляет собой цепь из 3-х гор, самая высокая из которых — Средний Басег — достигает 994,7 м. К северу от неё расположен Северный Басег (951,9 м), к югу — Южный Басег. Вершины разделены между собой седловинами с абсолютными высотами около 650 м.

Обобщённый пространственный анализ при геомоделировании почвенного покрова включает следующие этапы:

1. Составление базы данных по характеристике почв заповедника.
2. Построение цифровой модели рельефа и анализ морфометрических характеристик.
3. Определение границ водосборных бассейнов и элементов их структурной организации на основе модели гидрографической сети.
4. Дифференциация высотно-растительных геосистем с учётом индекса растительности (NDVI).
5. Определение взаимосвязи между факторами почвообразования с помощью статистических методов и информационно-логического анализа.
6. На основе обобщения информации о факторах почвообразования проводится геомоделирование почвенного покрова территории заповедника.

Для проведения исследований использовали следующие материалы:

- топографические карты Генштаба м-ба 1: 25 000, подготовленные с помощью навигационной программы SAS-Planet, также Яндекс-карты, OSM карты;
- космические снимки, полученные с оптических спутников дистанционного зондирования Земли SPOT-6 и ResursP 14.08.2014 и 27.09.2014 с высоким пространственным разрешением — до 5 м;
- программное обеспечение ГИС, продукты MapInfo Professional 10.5., модуль геоанализа MapInfo Vertical Mapper 3.0., ArcGis 10.2, Sas-Planet, навигационная программа топографических карт;
- данные почвенных разрезов, заложенных в заповеднике за 2009–2019 гг. во время летних практик (140 разрезов) по морфологическим и аналитическим данным почвы, диагностировали по «Классификации и диагностики почв России».

Для выделения бассейновой территориальной структуры и элементов литоводосборных бассейнов использована методика Т.А. Трифионовой [1999].

В ходе работы обрабатывались большие массивы пространственно-распределённых данных, что вызвало необходимость структурирования информации и создания баз данных высотных параметров, морфометрических характеристик рельефа, элементов растительности, гидрографической сети и почвенного покрова:

- база данных морфометрических параметров рельефа имеет вид таблицы, формата ascdb со следующей структурой: столбцы: id; высота м, н.у.м; уклон местности, °; экспозиция склонов; число строк = 1028;
- база данных линейных объектов (гидрографической сети, границы заповедника) выполнена в формате ascdb со структурой таблицы: столбцы: id; название рек; название границ; протяжённость рек, м; уклон рек, °; густота речной сети, км/км<sup>2</sup>; общая длина рек бассейна; число строк = 97;
- база данных площадных объектов (контуров растительных ассоциаций, бассейнов рек, структурных элементов бассейнов) реализована в табличной форме со структурой: столбцы: id; название растительности, площадь км<sup>2</sup>, название бассейна; площадь бассейна, км<sup>2</sup>; площадь правой и левой части

бассейна; общий периметр бассейна, км; асимметрия; название структурных элементов бассейна, их площадь, км<sup>2</sup>; коэффициент вытянутости бассейна, км; коэффициент ширины бассейна, км; число строк = 97.

- база данных почв также сформирована в табличной форме со структурой: столбцы: id; название почвы; площадь контура, км<sup>2</sup>; число строк = 3323.

Обработка картографического материала, анализ данных, подготовка баз данных были проведены на базе геоинформационной системы MapInfo Professional. Картографической основой для создания ГИС ООПТ являются топографические карты и серии тематических карт (геологическая, геоморфологическая, ландшафтная, геоботаническая и др.). Здесь важным условием становится приведение всех карт к единой картографической основе. Цифровая карта почвенного покрова создана на базе геоинформационной системы ESRI ArcGis 10.2. Всего подготовлено 7 слоёв в качестве основы геоинформационной базы данных.

Статистическая обработка проведена в программах «Анализ данных» в Microsoft Excel, STATISTICA 6,0; АЛІ (информационно-логический анализ), разработанной в Алтайском ГАУ Л.М. Бурлаковой, Д.И. Иваничкиным. Уровень значимости оценки результатов статистической обработки достоверен при  $P = 0,95$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Детальная интерполированная поверхность рельефа (м-б 1: 120 000) составлена с помощью модуля геоанализа Mapinfo Vertical Mapper 3.0, ГИС-программного продукта MapInfo Professional 10.5. Построенные изолинии на основе набора горизонталей преобразованы в точки, а затем, для построения непрерывной поверхности, — в векторные области. Преобразование позволяет точно выделить контуры, различающиеся по высоте территории. Полученные исходные массивы данных интерполировались методом триангуляции со сглаживанием (triangulation with smoothing) для построения нерегулярной триангуляционной сети (TIN) отметок высот (рис. 2).

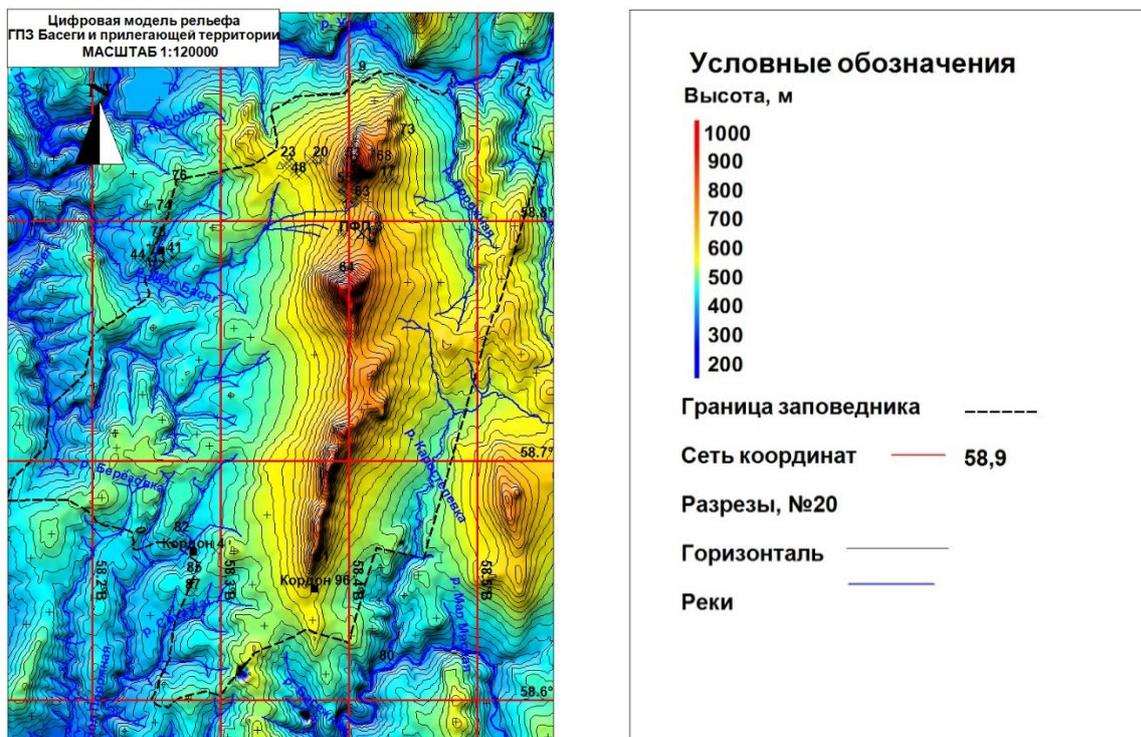


Рис. 2. Цифровая модель рельефа хребта Басеги  
Fig. 2. Digital relief model of Basegi Ridge

Используя модуль геоанализа Mapinfo Vertical Mapper 3.0. составлен геоморфологический профиль хр. Басеги (с уклоном) для выделения геосистем, а также детальные геоморфологические профили гор Северный Басег, Средний Басег и Южный Басег. Протяжённость геоморфологического профиля хребта (с севера на юг) составляет более 20 000 м, крутизна склонов от 2,5 до 10 и  $> 10^\circ$ . Хребет разделён меридиональными депрессиями, которые дренируются речными долинами.

Морфометрический анализ рельефа показал, что на территории заповедника возможно выделить различные геосистемы: водораздельные пространства, депрессии, речные долины, нерасчленённые поймы, склоновые поверхности различной крутизны, межгорные долины, седловины, платообразные поверхности.

Далее создаются морфометрические карты (уклонов и экспозиции) (рис. 3, 4).

В пределах хребта Басеги встречается разнообразная растительность в высотных ландшафтах (рис. 5):

- 1) гольцовый пояс: тундры — пятнистая травяно-моховая, травянисто-кустарничковая; елово-берёзовые криволесья с различным наземным покровом;
- 2) подгольцовый пояс (криволесье, луга высокотравные): высокотравные луга, различающиеся по степени зарастания ивой и по степени увлажнения;
- 3) подгольцовый пояс (парковое редколесье): пихтово-еловый аконитовый лес на западном склоне горы; ельник папоротниковый на восточном склоне; верховое болото;
- 4) горно-лесной пояс: елово-пихтовый лес травяно-кустарничковый; берёзово-еловый травяно-кустарничковый; березняк таволго-разнотравный (приручьевые леса в нижней части горно-лесного пояса на высоте 340–390 м).

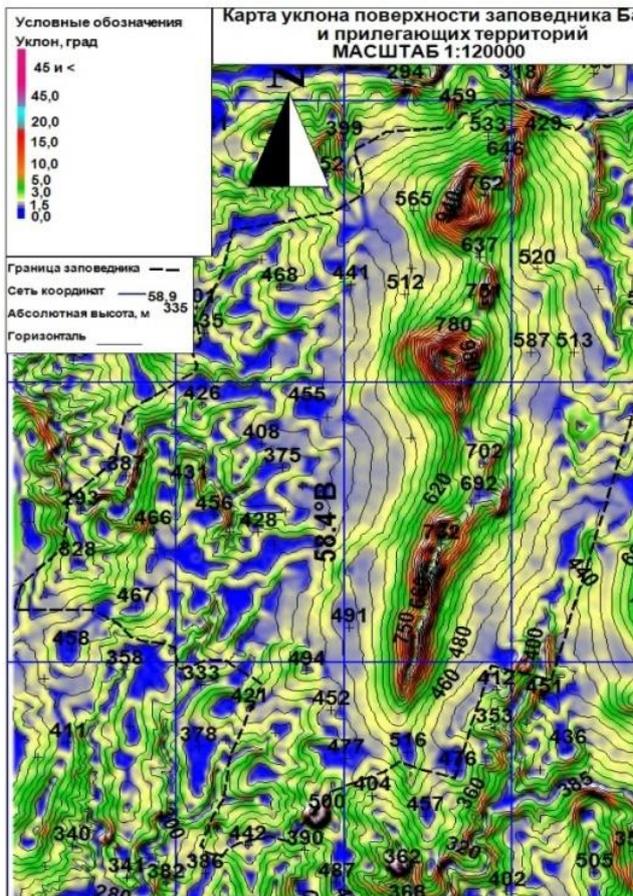


Рис. 3. Карта крутизны склонов хребта  
Fig. 3. Map of the steepness of the slopes of the ridge

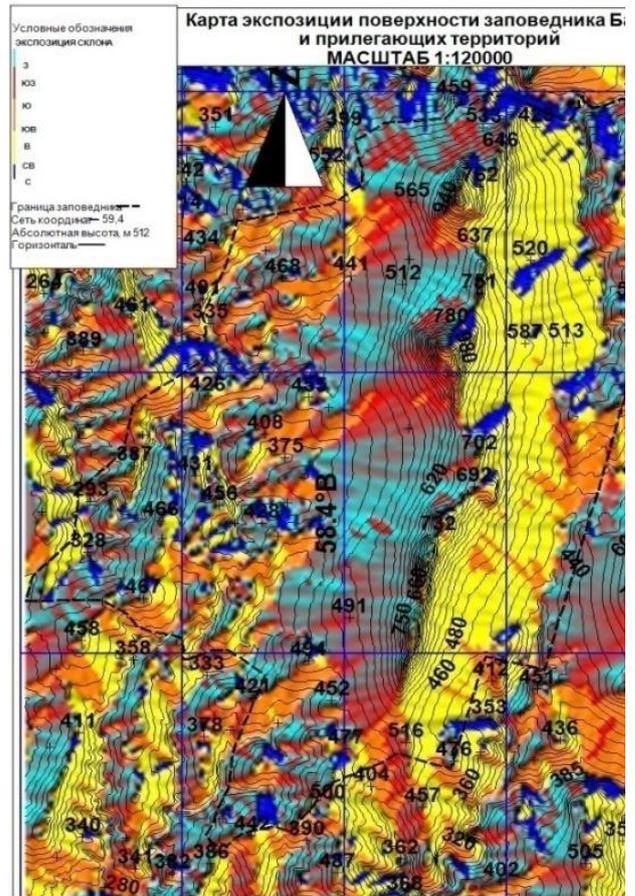


Рис. 4. Карта экспозиции склонов хребта  
Fig. 4. Map of the exposition of the slopes of the ridge

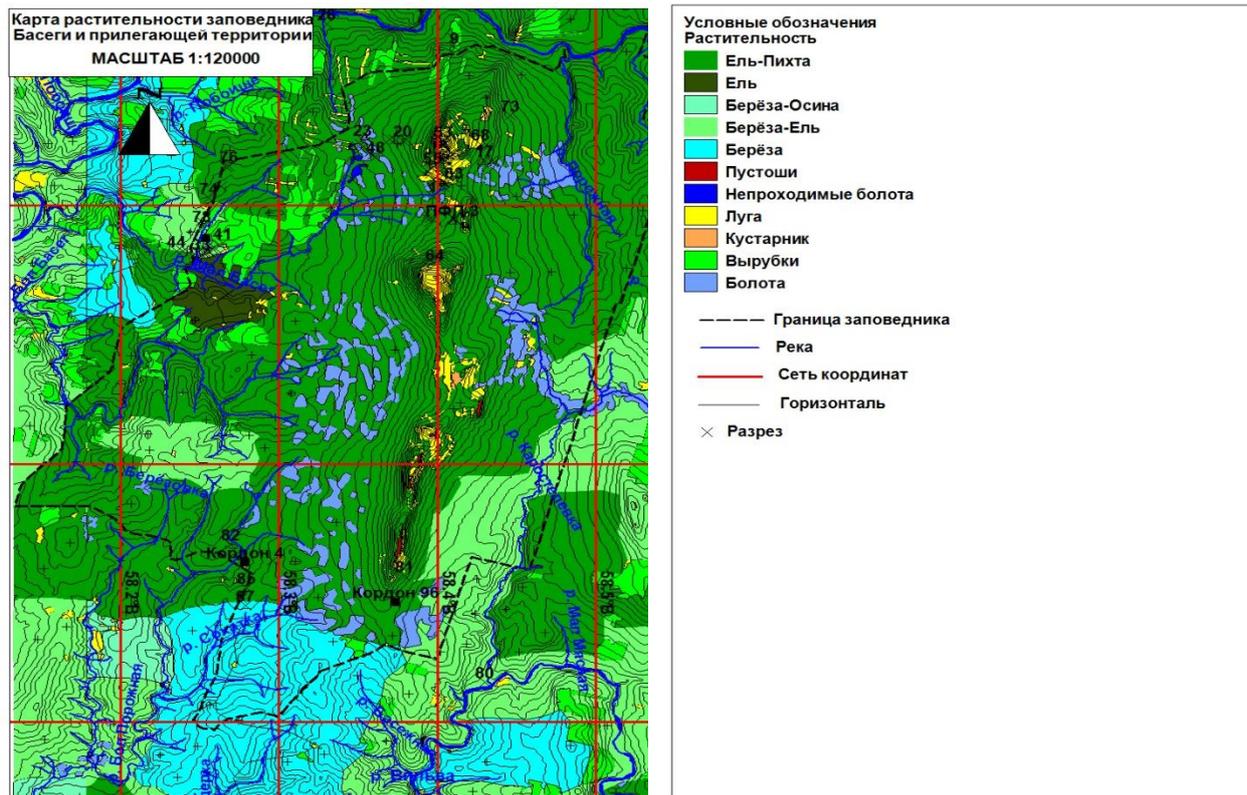


Рис. 5. Карта растительности заповедника «Басеги»

Fig. 5. The vegetation map of the "Basegi" Reserve

Физико-географические условия обуславливают дифференциацию ландшафтов с учётом поверхностей выравнивания и возможность выделения при этом высотных поясов: горно-тундрового (гольцового) на высоте 900 и > м, альпийских и субальпийских лугов, а также кедрово-пихтовых криволесий (подгольцового) на высоте 600–900 м, тёмнохвойных елово-пихтовых лесов (горно-лесной) на высоте 300–600 м.

Статистическое подтверждение связей для «растительность/крутизна склонов», «растительность/высота местности» и «растительность/экспозиция склонов» получено по корригирующему коэффициенту G. Неприхотливые елово-пихтовые леса развиваются на всех уклонах, но более всего тяготеют к поверхности с уклоном < 3°, 3–10°. Еловые леса, луга и др. растительные ассоциации более всего предпочитают участки с уклоном до 5°. При крутизне > 10° условия для произрастания ухудшаются, и мы имеем тундровые пустоши и гольцы.

Для каждой растительной группировки выделяется наиболее благоприятный интервал высот для их развития. Наиболее неприхотливыми можно считать елово-пихтовые леса, которые могут подниматься вверх по склонам до 900 м н.у.м., в зависимости от экспозиции (на западной и на восточной). Луговые растительные формации и берёзово-еловые криволесья более всего стремятся к высотам 500–700 м н.у.м. В целом, максимально благоприятной является высота 300–500 м н.у.м.

Достоверная взаимосвязь между растительными ассоциациями и экспозицией склонов позволяет утверждать, что разные типы еловых лесов в большей степени тяготеют к западной экспозиции склонов хребта, где отмечаются менее крутые склоны. Луговые растительные ассоциации большей частью устремляются к склонам восточной и южной экспозиции. Болотные растительные группировки в большей мере формируются на западной и восточной экспозиции. Берёзово-еловые и берёзовые криволесья приурочены также к восточной и западной экспозиции.

На территории заповедника протекает 18 рек различной величины, которые формируют водосборы различного порядка. Карта бассейновой территориальной структуры выполнена на базе цифровой модели рельефа (ЦМР), созданной на основе оцифрованных топографических карт (рис. 6). Затем выполняется построение гридов направлений стока (линии тока) и кумулятивного стока, определение водотоков и присвоение порядка каждому звену эрозионной сети.

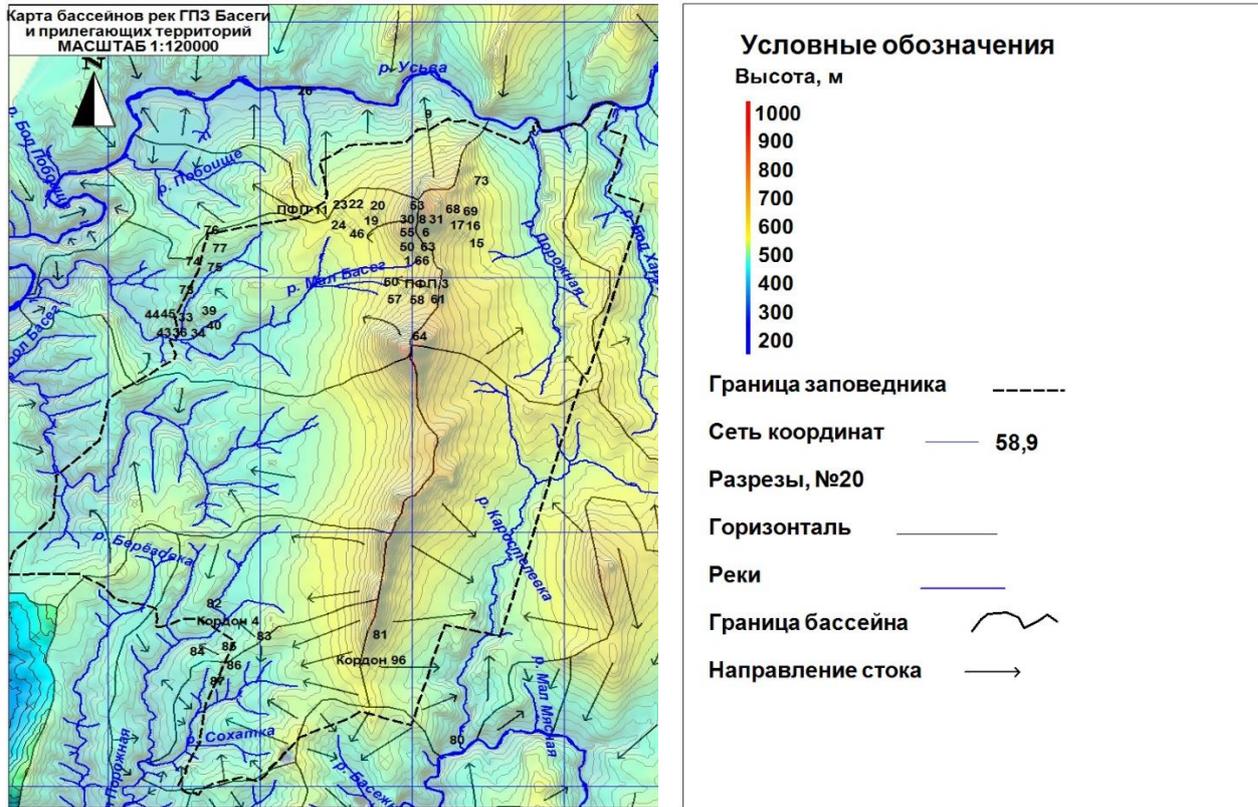


Рис. 6. Карта-схема литоводосборных бассейнов рек, дренирующих хребет Басеги  
 Fig. 6. Map of lithium catchment basins of rivers draining the Basegi Ridge

Завершающим этапом создания бассейновой структуры является определение границ микроводосборов и речных бассейнов с помощью приложения ArcHydro 4.1. На основе цифровой модели рельефа выделены литоводосборные бассейны (ЛВБ) рек IV порядка по отношению к реке Каме, которые впадают в более крупные реки III порядка — Усьву и Вильву, впадающими в реку II порядка Чусовую, которая уже втекает в реку I порядка Каму.

Различия типов бассейнов определяются различием рисунков стоковой системы. Так, в западной части от хребта формируются ЛВБ в форме дубового листа, а в восточной — стоковая система формируется в виде лопасти. Площадь бассейнов рек IV порядка варьирует в широких пределах (7,68–123,0 км<sup>2</sup>). Средняя ширина водосбора небольшая, изменяется в пределах 2,07–6,42 км, а коэффициент вытянутости водосбора составляет от 0,62 до 6,23 км. Густота речной сети (D) изменяется (0,28 до 0,77 км/км<sup>2</sup>), в среднем составляет 0,55 км/км<sup>2</sup>. Реки имеют правую и левую асимметрию. В микроводосборах выраженная асимметрия рек ещё отсутствует

Таким образом, образование разных горных ЛВБ указывает на различные процессы разрушения горного массива и роста русловой системы трещин вверх по склону в западной и восточной части хребта. Более активно бассейнообразование происходит на

западных склонах хребта, что приводит к «деформации» структуры сложившейся высотной поясности почвенно-растительного покрова.

На основе закономерностей распределения потоков вещества и энергии в горных районах, удалось пространственно определить структурную организацию литоводосборных бассейнов (рис. 7), которые слагают территорию заповедника. В пределах выделенных ЛВБ рек выделены элементы структуры бассейнов: речные русла, внутренняя долина, склоновые поверхности водосбора, водосборные воронки, фанды, дуги.

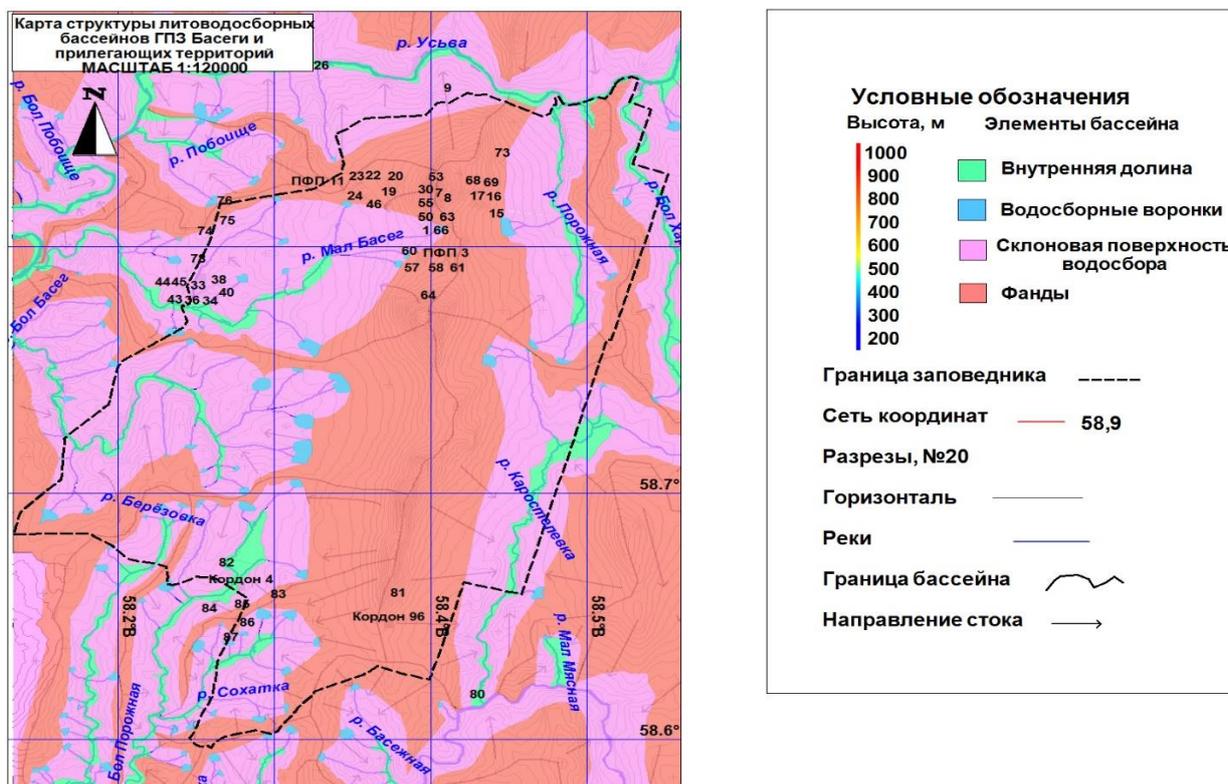


Рис. 7. Карта-схема элементов структуры литоводосборных бассейнов  
Fig. 7. Map-diagram of the structural elements of the lithium catchment basins of rivers

Водосборные бассейны горных морфоструктур часто развиваются в режиме относительно самостоятельных геосистем.

При совмещении карт растительного покрова и элементов структуры ЛВБ наблюдается закономерная смена растительных формаций, в зависимости от приоритетных факторов образования биоклиматогенной структуры почвенного покрова литоводосборных бассейнов (рис. 8). Почвы во внутренних речных долинах преимущественно обособляются елово-пихтовым, берёзовым, берёзово-еловым, берёзово-осиновым лесом, местами встречаются болота и долинные луга. Почвенный покров склоновых водосборных поверхностей, испытывающих интенсивный процесс стока и перемещения вещества и энергии, сопряжён с елово-пихтовой, берёзово-еловой парковой растительностью и горной тайгой. Болотные ландшафты тяготеют к местам водосборных воронок, что объясняет повышенное переувлажнение этих участков. Почвенный покров фандов и водораздельных дуг охватывает самые обширные территории, где преобладают различные растительные ассоциации: пустоши, кустарничково-моховая растительность, ниже встречается луговая растительность, переходящая в елово-берёзовую, елово-пихтовую тайгу. Такое распределение растительности объясняется особенностями взаимоположения высотной биоклиматической поясности и ЛВБ, что, в свою очередь, влияет на специфику образования и особенности почвенного покрова.

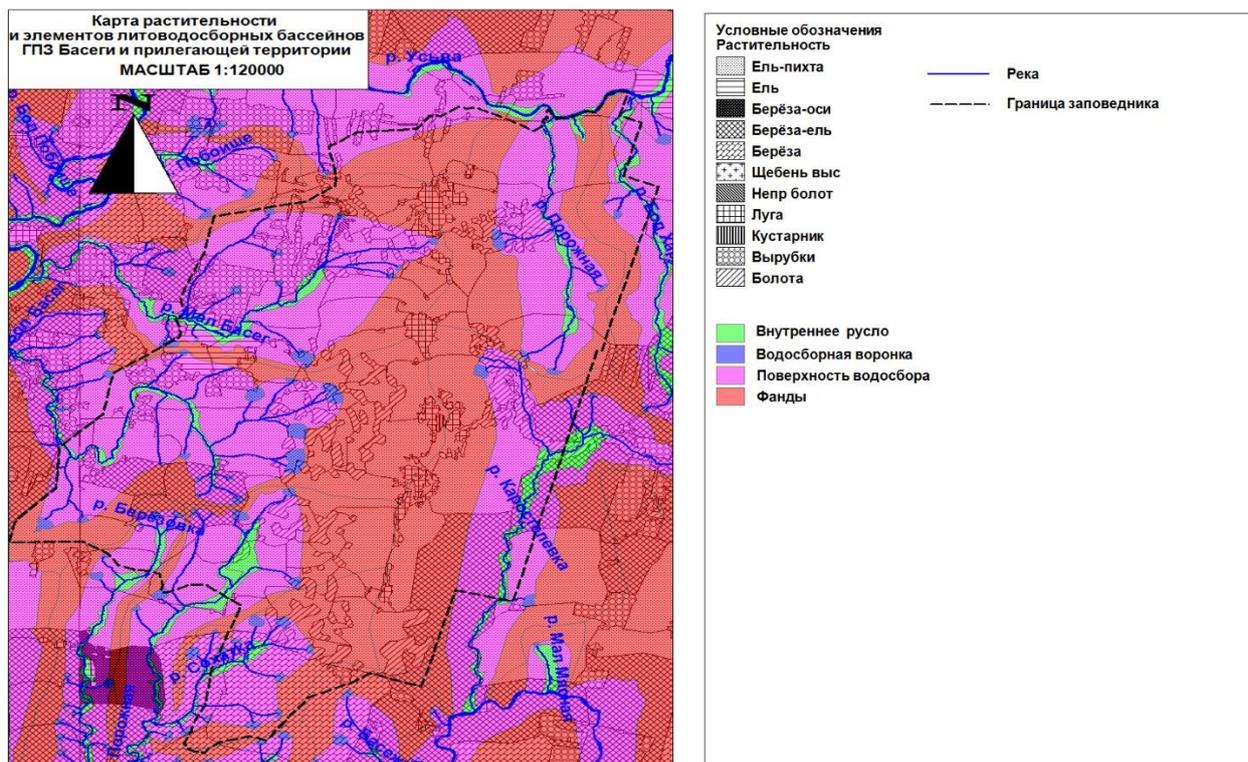


Рис. 8. Карта-схема растительности и элементов структуры водосборных бассейнов рек хребта Басеги

Fig. 8. Map of vegetation and structural elements of the catchment basins of the Basegi Ridge rivers

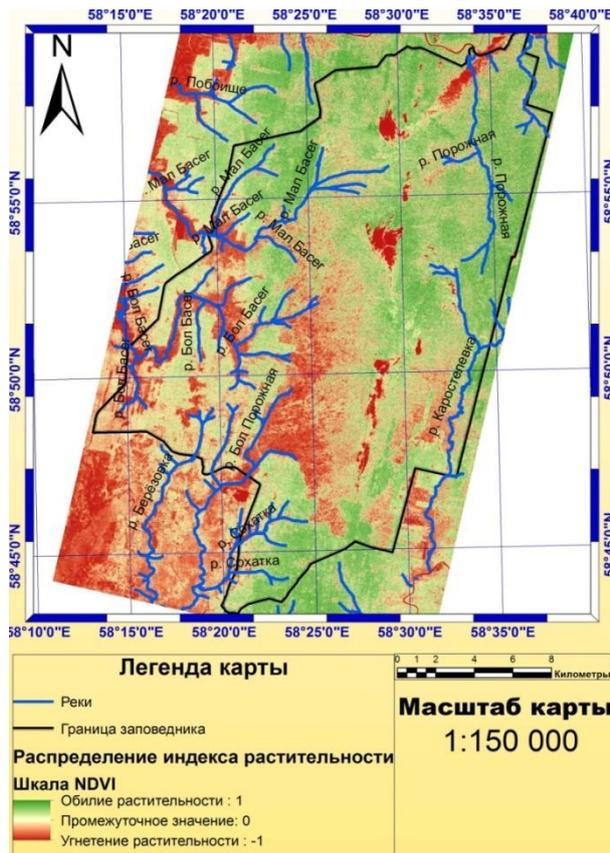
Статистическое описание связей по корригирующему коэффициенту  $G$  между растительными ассоциациями на восточных и западных склонах со структурными элементами ЛВБ показало, что на склонах западной экспозиции эта связь достоверна, а на восточных такая зависимость не подтверждается, что объясняется особенностями образования, выработанностью элементов структуры ЛВБ. В менее выработанных восточных бассейнах рек растительные ассоциации находятся в более интенсивном перемещении.

По усилению степени влияния на условия произрастания растительности изучаемые факторы располагаются в следующий ряд: экспозиция склонов < элементы ЛВБ < крутизна < высота, м н.у.м.

На рис. 9 представлена карта нормализованного относительного индекса растительности заповедника. Анализируя распределение показателя NDVI можно сделать вывод, что обилие растительности приурочено к горно-таёжным лесам и лугам, где формируется плотный растительный покров (зелёные области на карте). Разреженная растительность отличается на крутых склонах и местах, где она находится в начальной стадии формирования (жёлтый цвет на карте). В заповеднике есть территории, где происходит угнетение растительности и её биомасса стремится к нулевому значению — это места горных россыпей, пустошей, крутых склонах речных долин, водные объекты, болота (красный цвет на карте). Таким образом, сопоставляя карту NDVI с картой растительности, наблюдаем последовательную дифференциацию типов растительных ассоциаций от их биомассы.

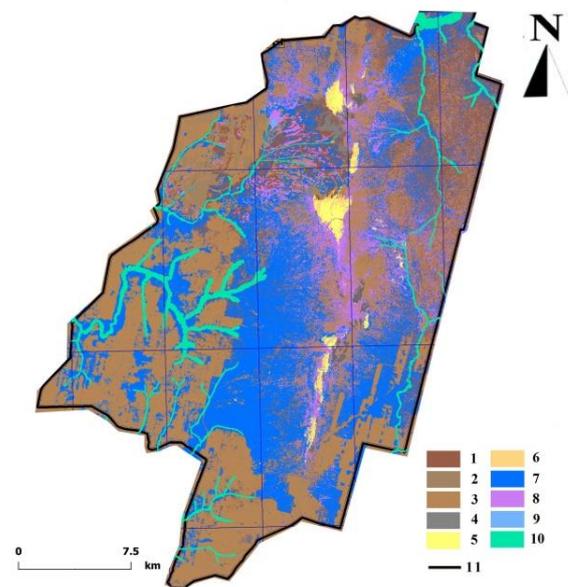
С учётом климатических особенностей разных высотных поясов и склонов различных экспозиций, а также литологической неоднородности следует констатировать очень большое разнообразие условий почвообразования, которое должно обусловить и

соответствующее разнообразие почвенного покрова. Составлена карта расположения почвенных разрезов, заложенных на территории заповедника в течение 2008–2019 гг. На основании полученных данных стало возможно с помощью ГИС совместить полученные материалы и выявить особенности формирования почвенного покрова в разных высотных условиях. Фрагмент цифровой карты почвенного покрова для территории заповедника создан на базе геоинформационной системы ESRI ArcGIS 10.2. Почвенные контуры для всей территории оцифровывались по космическим снимкам автоматизированным методом дешифрирования данных дистанционного зондирования с учётом всех факторов почвообразования (рис. 10). Определена логическая взаимосвязь формирования почв на уровне отдела, типа, подтипа в разных ландшафтных условиях.



*Рис. 9. Карта нормализованного относительного индекса растительности (NDVI) для территории заповедника «Басеги»*

*Fig. 9. Map of the normalized relative vegetation index (NDVI) for the territory of the “Basegi” Nature Reserve*



1 — Бурозёмы; 2 — Бурозёмы глееватые; 3 — Бурозёмы грубогумусовые; 4 — Серогумусовые; 5 — Петрозёмы гумусовые и подбуры; 6 — Литозёмы сухоторфяные, грубогумусовые, тёмногумусовые; 7 — Перегнойно-глеевые; 8 — Глезёмы; 9 — Торфяные олиготрофные глеевые; 10 — Аллювиальные гумусовые глеевые; 11 — граница заповедника

*Рис. 10. Почвенная карта Государственного заповедника «Басеги», М-б 1: 150 000*

*Fig. 10. Soil map of “Basegi” State Reserve, Scale 1: 150 000*

На основании информационно-логического анализа для каждого высотного ряда почв выделены почвенные комбинации. Наиболее сложные комбинации складываются на высоте 500–700 м, т.к. на этой высоте максимальное разнообразие и варьирование различных типов растительности: леса елово-пихтовые, елово-берёзовые, леса паркового редколесья, субальпийские луга, и, частично по некоторым склонам, берёзовые криволесья. Это и приводит к формированию пёстрого почвенного покрова.

Структура почвенного покрова заповедника является поликомбинационной и представляет собой повторение нескольких почвенных комбинаций: линейно-волнистых комплексов с переходным фоновым компонентом и линейно-волнистых сочетаний. В составе всех почвенных комбинаций преобладают бурозёмы. Комплексы приурочены к крутым склонам и водоразделам, сочетания занимают выположенные участки склонов, подножия склонов, территорию поймы.

## ВЫВОДЫ

Для территории заповедника «Басеги» созданы электронные тематические карты по основным факторам почвообразования. На основе цифровой модели рельефа определены границы геосистем литоводосборных бассейнов и высотно-растительных формаций. Литоводосборные бассейны западной и восточной экспозиций хр. Басеги различаются морфометрически и рисунком стоковой системы. Установлены основные закономерности изменения факторов почвообразования в пространстве: наличие горизонтально- (высотная поясность) и вертикально- организованных (бассейнообразование) геосистем, которые взаимно функционируют и обуславливают друг друга. На основе обобщённого пространственного анализа установлены индикационные связи между растительностью, высотой местности, экспозицией и крутизной склонов, элементами водосборного бассейна реки, почвами. На изменение почвенного покрова в пространстве влияют высотная поясность, степень выработанности литоводосборного бассейна, распределение растительности по элементам литоводосборного бассейна. Обнаружена приуроченность отделов, типов–подтипов почв к определённым элементам литоводосборных бассейнов, высотно-растительным поясам. На основании информационно-логического анализа и индикационных связей для каждого высотного пояса выделены характерные почвенные комбинации. Наиболее сложные комбинации почв складываются на высоте 500–700 м, т.к. здесь отмечается максимальное разнообразие типов растительности.

Геомоделирование почвенного покрова на основе обобщённого пространственного анализа территории заповедника «Басеги» позволило построить более приближенную к реальным условиям геоинформационную модель структурной организации почв в пространстве. Совместное применение бассейнового подхода и геоинформационных технологий дают высокую точность (80–90 %) при использовании их для сложных природных условий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахарев П.Н., Семёнов В.В., Андреев Д.Н. Геоинформационная база данных территории заповедника «Вишерский». Географический вестник, 2015. № 2 (33). С. 56–62. DOI: 10.17072/2079-7877-2015-2-56-62.
2. Ермолаев О.П., Мальцев К.А., Иванов М.А. Автоматизированное построение границ бассейновых геосистем для Приволжского федерального округа. География и природные ресурсы, 2014. № 3. С. 33–39. DOI: <http://www.izdatgeo.ru/pdf/gipr/2014-3/32.pdf>.
3. Калюжная И.Ю., Калюжная Н.С., Леумменс Х.Дж.Л. Опыт использования картографических методов и ГИС в проектировании биосферного резервата «Эльтонский». ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Издательство Московского университета, 2019. Т. 25. Ч. 1. С. 337–351. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-337-351.
4. Молчанов Э.Н. Структура почвенного покрова гор Северного Кавказа. Почвоведение, 1999. № 7. С. 816–827.
5. Мудрых Н.М., Яшина И.А. Геоинформационные технологии в агрохимическом мониторинге земель сельскохозяйственного назначения. Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края. Сборник научных трудов. Пермь: Пермский

государственный национальный исследовательский университет, ГИС-центр ПГНИУ, 2015. Вып. 8. С. 72–75.

6. *Отбоева С.Д., Жалсараева Е.А.* Особенности применения геоинформационных систем при экоаудите особо охраняемых природных территорий. Российское предпринимательство, 2016. Т. 17. № 15. С. 1807–1816. DOI: 10.18334/gr.17.15.36404.

7. *Савин И.Ю.* Инвентаризация почв с использованием ГИС технологий. Почвоведение, 2003. № 10. С. 1189–1196.

8. *Самофалова И.А.* Геопространственное моделирование физико-химических свойств горных почв (Северный Урал, заповедник «Вишерский»). Российский журнал прикладной экологии, 2019 (а). № 2 (18). С. 35–41.

9. *Самофалова И.А.* Индикационная связь между генетическими признаками почв и высотными ландшафтами на Среднем Урале (хребет Басеги). Российский журнал прикладной экологии, 2019 (б). № 2 (18). С. 42–48.

10. *Самофалова И.А., Шутов П.С.* Геосистемно-бассейновый подход как основа изучения структуры почвенного покрова. Вестник Алтайского ГАУ, 2017. № 1 (147). С. 49–57.

11. *Самофалова И.А., Шутов П.С.* Использование ГИС-технологий для пространственной дифференциации геосистем на территории заповедника «Басеги». Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края. Сборник научных трудов. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, ГИС-центр ПГНИУ, 2015. Вып. 8. С. 112–120.

12. *Трифонов Т.А.* Формирование почвенного покрова гор: геосистемный аспект. Почвоведение, 1999. № 2. С. 174–181.

13. *Чащин А.Н., Кондратьева М.А.* Использование данных дистанционного зондирования для оценки темпов самозарастания угольных отвалов Кизеловского бассейна. Географический вестник, 2019. № 2(49). С. 135–147. DOI: 10.17072/2079-7877-2019-2-135-147.

14. *Черкасов А.А., Махмудов Р.К., Эшироков В.М.* ГИС «Схема территориального планирования Республики Калмыкия». ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Издательство Московского университета, 2019. Т. 25. Ч. 1. С. 179–188. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-179-188.

15. *Gray D.P., Harding J.S.* Acid Mine Drainage Index (AMDI): A benthic invertebrate biotic index for assessing coal mining impacts in New Zealand streams. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 2012. No 46. P. 335–352.

16. *Khayrulina E.A., Khmurchik V.T., Maksimovich N.G.* The Kizel coal basin (the Western Urals, Russia): environmental problems and solutions. Mining meets water — conflicts and solutions. Proceedings IMWA, 2016. Annual conference. Leipzig, 2016. P. 761–767.

17. *Maksimovich N.G., Pyankov S.V., Khayrulina E.A.* Environmental assessment of closeded coal mine territory using GIS analysis. Mine water and circular economy, 2017. IMWA (Lappeenranta). P. 212–217.

18. *Maksimovich N.G., Gorbunova K.A., Balkema A.A.* Geochemical aspects of the geological medium changes in coal fields. Proceeding of 6 International Congress of engineering geology. Rotterdam, 1990. P. 1457–1461.

19. *Petty J.T., Barker J.* Water quality variability in tributaries of the Cheat River, a mined Appalachian watershed. Proceedings of the American Society of mining and reclamation, 2004. V. 15. P. 1–21.

20. *Petty J.T., Fulton J.B., Strager M.P., Merovich G.T., Stiles J.M., Ziemkiewicz P.F.* Landscape indicators and thresholds of stream ecological impairment in an intensively mined Appalachian watershed. Journal of the North American Benthological Society, 2010. No 29. P. 1292–1309.

21. *Samofalova I.A.* Geo-modeling of soil cover in inaccessible areas (Perm region, the Middle Urals). International conference “Global soil map 2017”. Proceedings. Moscow, Russia, July 4–6, 2017. Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute & Agrarian-Technological Institute, RUDN University, 2017. P. 77.
22. *Singh N.P., Mukherjee T.K., Shrivastava B.B.* Monitoring the impact of coal mining and thermal power industry on landuse pattern in and around Singrauli coalfield using remote sensing data and GIS. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 1997. V. 25. No 61. DOI: 10.1007/BF02995419.
23. *Yan C., Liu R., Liu S., Wu L., Liu S.* Study of remote sensing index indicators about the mine environment evaluation. International geoscience and remote sensing symposium (IGARSS), 2004. V. 1. P. 579–581.
24. *Yermolaev O.P., Maltsev K.A., Mukharamova S.S., Kharchenko S.V., Vedeneeva E.A.* Cartographic model of river basins of European Russia. *Geography and Natural Resources*, 2017. V. 38 (2). P. 131–138.
25. *Zhao X., Liu S., Wang P., Li Q., Liu X., Qu Y.* A study on the remote sensing information model about the water pollution caused by mine tailings. International geoscience and remote sensing symposium (IGARSS), 2003. V. 4. P. 2483–2487.

#### REFERENCES

1. *Bakharev P.N., Semenov V.V., Andreev D.N.* Geoinformation database of nature reserve “Visherskiy”. *Geographical bulletin*, 2015. No 2(33). P. 56–62. DOI 10.17072/2079-7877-2015-2-56-62 (in Russian).
2. *Chashchin A.N., Kondrateva M.A.* Using remote sensing data to assess the self-overgrowth rates of coal dumps in the Kizel basin. *Geographical Bulletin*, 2019. No 2 (49). P. 135–147. DOI: 10.17072/2079-7877-2019-2-135-147 (in Russian).
3. *Cherkasov A.A., Makhmudov R.R., Eshrokov V.M.* GIS “Scheme of territorial planning of the republic of Kalmykia”. *InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference*. Moscow: Moscow University Press, 2019. V. 25. Part 1. P. 179–188. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-179-188 (in Russian).
4. *Gray D.P., Harding J.S.* Acid Mine Drainage Index (AMDI): a benthic invertebrate biotic index for assessing coal mining impacts in New Zealand streams. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 2012. No 46. P. 335–352.
5. *Khayrulina E.A., Khmurchik V.T., Maksimovich N.G.* The Kizel coal basin (the Western Urals, Russia): Environmental problems and solutions. *Mining meets water — conflicts and solutions. Proceedings IMWA, 2016. Annual conference. Leipzig, 2016*. P. 761–767.
6. *Kalioujnaia I.J., Kalioujnaia N.S., Harald J.L. Leummens H.J.L.* Experience of using cartographic methods and GIS in the design of biosphere reserve “Elton”. *InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference*. Moscow: Moscow University Press, 2019. V. 25. Part 1. P. 337–351. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-337-351 (in Russian).
7. *Maksimovich N.G., Gorbunova K.A., Balkema A.A.* Geochemical aspects of the geological medium changes in coal fields. *Proceeding of 6 International Congress of engineering geology*. Rotterdam, 1990. P. 1457–1461.
8. *Maksimovich N.G., Pyankov S.V., Khayrulina E.A.* Environmental assessment of closeded coal mine territory using GIS analysis. *Mine water and circular economy, 2017. IMWA (Lappeenranta)*. P. 212–217.
9. *Molchanov E.N.* Mountainous Meadow Chernozem-like Soils of high mountains in the North Caucasus region. *Eurasian Soil Science*, 2008. V. 12. P. 1438–1452 (in Russian).
10. *Mudrykh N.M., Yashinina I.A.* Geoinformation technologies in the agrochemical monitoring of agricultural land. *Proceedings: Geoinformation support for the spatial development of the*

- Perm territory. Perm: Perm state national research university, GIS center Perm, 2015. Iss. 8. P. 72–75 (in Russian).
11. *Otboeva S.D., Zhalsaraeva E.A.* The peculiarities of using geoinformation systems at performing the ecological audit of specially protected natural territories. *Russian Journal of Entrepreneurship*, 2016. No 15. P. 1807–1816. DOI: 10.18334/rp.17.15.36404 (in Russian).
  12. *Petty J.T., Barker J.* Water quality variability in tributaries of the Cheat river, a mined Appalachian watershed. *Proceedings of the American society of mining and reclamation*, 2004. V. 15. P. 1–21.
  13. *Petty J.T., Fulton J.B., Strager M.P., Merovich G.T., Stiles J.M., Ziemkiewicz P.F.* Landscape indicators and thresholds of stream ecological impairment in an intensively mined Appalachian watershed. *Journal of the North American Benthological Society*, 2010. No 29. P. 1292–1309.
  14. *Samofalova I.A.* Geo-modeling of soil cover in inaccessible areas (Perm region, the Middle Urals). International conference “Global Soil Map 2017”. *Proceedings*. Moscow, Russia, July 4–6, 2017. Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute & Agrarian-Technological Institute, RUDN University, 2017. P. 77.
  15. *Samofalova I.A.* Geospatial modelling of physical and chemical properties of the mountain soils (Northern Urals, “Vishersky” Reserve). *Russian Journal of Applied Ecology*, 2019 (a). No 2 (18). P. 35–41 (in Russian).
  16. *Samofalova I.A.* Indicative link between genetic signs of soil and high-altitude landscapes in the Middle Ural (Ridge Basegi). *Russian Journal of Applied Ecology*, 2019 (b). No 2 (18). P. 42–48 (in Russian).
  17. *Samofalova I.A., Shutov P.S.* Geosystem-basin approach as a basis of studying soil cover structure. *Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2017. V. 1 (147). P. 49–57 (in Russian).
  18. *Samofalova I.A., Shutov P.S.* The use of GIS technologies for spatial differentiation geosystems on the Reserve “Basegi”. *Proceedings: Geoinformation support for the spatial development of the Perm territory*. Perm: Perm State National Research University, GIS Center Perm, 2015. Iss. 8. P. 112–120 (in Russian).
  19. *Savin I.Yu.* Soil inventory with the use of GIS technologies. *Eurasian Soil Science*, 2003. No 10. P. 1189–1196 (in Russian).
  20. *Singh N.P., Mukherjee T.K., Shrivastava B.B.* Monitoring the impact of coal mining and thermal power industry on landuse pattern in and around Singrauli coalfield using remote sensing data and GIS. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 1997. V. 25. No 61. DOI: 10.1007/BF02995419.
  21. *Trifonova T.A.* Formation of the soil mantle in mountains: the geosystem aspect. *Eurasian Soil Science*, 1999. No 2. P. 174–181 (in Russian).
  22. *Yan C., Liu R., Liu S., Wu L., Liu S.* Study of remote sensing index indicators about the mine environment evaluation. *International geoscience and remote sensing symposium (IGARSS)*, 2004. V. 1. P. 579–581.
  23. *Yermolaev O.P., Mal'tsev K.A., Ivanov M.A.* Automated construction of the boundaries of basin geosystems for the Volga Federal District. *Geography and Natural Resources*, 2014. No 3. P. 32–39. DOI: <http://www.izdatgeo.ru/pdf/gipr/2014-3/32.pdf> (in Russian).
  24. *Yermolaev O.P., Maltsev K.A., Mukharamova S.S., Kharchenko S.V., Vedeneeva E.A.* Cartographic model of river basins of European Russia. *Geography and Natural Resources*, 2017. V. 38 (2). P. 131–138.
  25. *Zhao X., Liu S., Wang P., Li Q., Liu X., Qu Y.* A study on the remote sensing information model about the water pollution caused by mine tailings. *International geoscience and remote sensing symposium (IGARSS)*, 2003. V. 4. P. 2483–2487.
-