

На правах рукописи

Чупина Дарья Анатольевна



Методика геоинформационного картографирования форм
и типов рельефа в рамках морфогенетического подхода
(на примере районов юга Западной Сибири)

25.00.33 – Картография

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Новосибирск – 2019

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН).

Научный руководитель – доктор геолого-минералогических наук, доцент
Зольников Иван Дмитриевич.

Официальные оппоненты:

Ступин Владимир Павлович, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии;

Крупочкин Евгений Петрович, кандидат географических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный университет», доцент кафедры экономической географии и картографии.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский государственный университет» (г. Тюмень).

Защита состоится 16 мая 2019 г. в 15-00 на заседании диссертационного совета Д 212.251.04 при ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» по адресу: 630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10, ауд. 402.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»: <http://sgugit.ru/science-and-innovations/dissertation-councils/dissertations/chupina-d-a/>

Автореферат разослан 25 марта 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Дубровский Алексей Викторович

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.
Подписано в печать 11.03.2019. Формат 60 × 84 1/16.
Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 24.
Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, Плахотного, 10.
Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, Плахотного, 8.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Характерной чертой современного этапа развития картографии является усиление ее геоинформационной составляющей как в теоретическом, так и в практическом аспектах. В настоящее время для картографирования рельефа широко используется различный инструментарий геоинформационных систем (ГИС), что снижает трудоемкость и субъективность исследований. Кроме того, применение ГИС-обработки цифровых моделей рельефа (ЦМР) позволяет более полно описывать геоморфологические объекты на количественном уровне, а также картографировать их. В геоморфологическом картографировании наиболее актуальными являются морфодинамический и морфогенетический подходы. Однако, если сравнивать эти два подхода, то морфодинамический является более детально разработанным, в большей степени формализовано-объективизированным и автоматизированным. Геоморфометрическое картографирование в рамках морфогенетического подхода пока апробировано на частных примерах с выделением отдельных типов и форм рельефа. При этом отмечается ряд затруднений, связанных с различного рода неопределенностями при морфологических и генетических характеристиках. Таким образом, на современном уровне исследований очевидна необходимость в разработке методики геоинформационного картографирования в рамках морфогенетического подхода на основе морфометрического анализа цифровых моделей рельефа.

Степень разработанности темы. Вопросами разработки методов и средств геоинформационного картографирования и моделирования рельефа занимается ряд отечественных научных организаций: Иркутский национальный исследовательский технический университет, Кубанский государственный университет, Казанский федеральный университет, Московский государственный университет. Значительный вклад в развитие методов морфометрического анализа внесли советские и российские ученые: Ефремов Ю. К., Спиридонов А. И., Волков Н. М., Девдариани А. С., Философов В. П., Симонова Ю. Г., Фро-

лов Ю. С., Червяков В. А., Ласточкин А. Н., Ступин В. П., Флоринский И. С., Шарый П. А., Николаева О. Н. и др. Среди работ зарубежных исследователей стоит особо отметить наибольшее влияние теоретических и практических разработок, принадлежащих Evans I. S., Krcho J., Pike R. J., MacMillan R. A.

Цель и задачи исследования. Цель диссертационного исследования состоит в разработке на основе морфогенетического принципа комплекса методик геоинформационного картографирования форм и типов рельефа и апробации разработанных методик на примере некоторых районов юга Западной Сибири.

Для достижения поставленной цели требовалось решить следующие задачи:

- проанализировать историю и состояние вопроса в области геоинформационного картографирования рельефа;
- выявить методико-технологические возможности картографирования рельефа в зависимости от полноты знаний о морфометрических и историко-генетических характеристиках;
- разработать методику геоинформационного картографирования типов рельефа по пользовательским критериям и на основе распознавания образов;
- разработать методику геоинформационного картографирования гомогенных и гетерогенных типов рельефа;
- апробировать технологии ретроспективного и прогнозного моделирования на основе использования полученных геоинформационных карт.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является геоинформационное картографирование рельефа.

Предметом исследования является методика геоинформационного картографирования форм и типов рельефа на морфогенетическом принципе.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- разработана методика геоинформационного картографирования в рамках морфогенетического подхода на основе морфометрического анализа цифровых моделей рельефа с учетом степени определенности геоморфометрических и генетических данных.

– составлены специальные карты ранжирования территории Барабинской равнины по степени уязвимости при активизации экзогенных процессов, обусловленных изменениями климата;

– составлены специальные карты обстановок природной среды в голоцене для юга Западно-Сибирской равнины;

– построены геоинформационные модели благоприятных обстановок проживания древнего человека палеолита для Горного Алтая и древних людей, относящихся к разным культурам второй половины голоцена (бронзовый, ранний железный век, средневековье) для Барабинской низменности.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость исследований заключается в том, что разработанные методики геоинформационного картографирования форм и типов рельефа могут найти применение при создании государственных геологических карт Российской Федерации (РФ) новых серий, при картографировании геолого-геоморфологической основы ландшафтов для рационального природопользования, а также для построения прогнозных моделей.

Практическая значимость работы состоит в том, что результаты научных разработок по заявленной тематике могут быть практически применены в различных областях хозяйственной деятельности и организации почвенных, ботанических, геологических съемок и проведении изысканий. Апробация разработанных методик показала возможность их успешного применения при палеогеографических реконструкциях и при прогнозном моделировании интенсивности проявления экзогенных процессов.

Методология и методы исследований. В качестве методологической базы исследования использованы следующие методы: визуальное дешифрирование, морфометрический анализ, статистический анализ, метод управляемых классификаций, индикаторный метод, метод аналогий, методы районирования, методы пространственного ГИС-анализа. Эмпирической основой исследований служили цифровая модель рельефа открытого доступа SRTM, базы геоданных

лаборатории № 284 ИГМ СО РАН, космические снимки LANDSAT и MODIS, карты четвертичных отложений масштаба 1 : 200 000 (геолфонд ИГМ СО РАН). Обработка данных осуществлялась в программных пакетах ArcGIS 10.2.2 компании ESRI и в системе обработки цифровых изображений ENVI 5.2, разработанной компанией ITT Visual Information Solutions.

Положения, выносимые на защиту:

- в рамках морфогенетического подхода информационная полнота данных о рельефе предопределяет конечные единицы его дискретизации: 1) районы, ареалы, зоны; 2) однородные типы рельефа; 3) гетерогенные типы рельефа; 4) модели геосистем;
- типы рельефа, не подразделяющиеся на отдельные формы, эффективно распознаются по морфометрическим характеристикам с использованием управляемых классификаций;
- типы рельефа с определенной внутренней территориальной организацией распознаются на основе удельного соотношения доминирующих форм с использованием метода скользящего окна.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности.

Диссертация соответствует областям исследования: 9 – Геоинформационное картографирование и компьютерные технологии; 12 – Использование карт в науке и практике, картометрия, математико-картографическое моделирование, точность и надежность исследований по картам паспорта научной специальности 25.00.33 – Картография, разработанного экспертным советом ВАК Минобрнауки России.

Степень достоверности и апробация результатов. Результаты выполненных исследований представлены на 17 и 23 Международных конференциях «ИнтерКарто/ИнтерГИС» (14–19 декабря 2011 г., г. Белокуриха; 26–28 июня 2017 г., г. Южно-Сахалинск); VIII и IX Международных научных конгрессах «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012» (10–20 апреля 2012 г., Новосибирск), «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013» (15–26 апреля 2018 г., Новосибирск); 6 Международ-

ной конференции молодых ученых «The 6th International Siberian Early Career Geoscientists Conference» (9–23 июня 2012 г., г. Новосибирск); 10, 11, 14, 15 Всероссийских открытых ежегодных конференциях «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (12–16 ноября 2012 г.; 11–15 ноября 2013 г.; 14–19 ноября 2016 г.; 13–17 ноября 2017 г.; г. Москва); VIII и X Всероссийских совещаниях по изучению четвертичного периода «Фундаментальные проблемы квартера, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований» (10–15 июня 2013 г., г. Ростов-на-Дону; 25–29 сентября 2017 г., г. Москва); VI конференции «Геоинформационные технологии и космический мониторинг» в рамках объединенной международной конференции «Экология. Экономика. Информатика» (8–13 сентября 2013 г., г. Ростов-на-Дону); XXXIII Пленуме Геоморфологической комиссии РАН (17–20 сентября 2013 г., г. Саратов); Всероссийской научной конференции, посвященной памяти профессора Величко А. А. «Пути эволюционной географии» (23–25 ноября 2016 г., г. Москва).

Защищаемая методика была использована в ходе работы над проектом РФФИ №16-35-00409 мол_а «Геоинформационное моделирование геолого-геоморфологического каркаса ПТК для выявления участков пониженной устойчивости биотических элементов к региональным климатическим изменениям (на примере Обь-Иртышского междуречья)». Методические наработки автора используются в учебном курсе «Методы геоинформационных систем (ГИС) и дистанционного зондирования (ДЗ) в геологии» на геолого-геофизическом факультете Новосибирского государственного университета. Сам диссертант ведет практические занятия по «Введению в ГИС» и по «Геоинформационному сопровождению учебной практики по структурной геологии и геологическому картированию (полигон ГГФ, Шира, Хакасия)».

Публикации по теме диссертации. Основные результаты диссертационного исследования представлены в девяти научных работах, из них две статьи в изданиях, входящих в перечень российских рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссер-

таций на соискание ученой степени кандидата наук; три статьи – в журналах, входящих в международную реферативную базу данных и систему цитирования Scopus; одна статья – в журнале, входящем в международную реферативную базу данных и систему цитирования Web of Science.

Структура диссертации. Общий объем диссертации составляет 166 страниц машинописного текста. Диссертация состоит из введения, семи разделов, заключения, списка литературы, включающего 162 наименования, содержит 5 таблиц, 65 рисунков и 3 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, показаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, перечислены методы исследования, приведены основные положения, выносимые на защиту, сведения о степени достоверности и апробации результатов исследования.

В первом разделе диссертации приведена история становления геоинформационного картографирования, рассмотрен рельеф как с точки зрения геоморфологии, так и как элемент содержания карт, а также выделены основные требования, предъявляемые к картам рельефа.

Геоинформационные технологии изменили сущность и роль картографических изображений: карта перестала быть конечным продуктом и превратилась в базу геоданных с поддержкой хранения исходных данных на компьютерных носителях и отображения информационных выборок, исходя из нужд пользователя. Инструментарий ГИС-технологий вобрал в себя весь арсенал накопленных географией, картографией и смежными науками о Земле методов изучения конкретных объектов и процессов: методы районирования и географического моделирования геосистем и их компонентов, принципы географической интерполяции и экстраполяции, приемы ключевых исследований, принци-

пы комплексирования и оптимизации, методы географической индикации. Развитие геоинформационных технологий также сделало возможным появление оперативного и динамического картографирования.

Развитие геоинформационного картографирования привело к усилению методологических позиций картографического метода как технологической основы интеграции различных дисциплин в области наук о Земле, поскольку в процесс исследования окружающей действительности стало включено промежуточное звено – географическая карта как модель изучаемого явления. При этом карта одновременно является как средством исследования, так и его предметом. Такой подход особо актуален для явлений, непосредственное изучение которых невозможно или затруднительно. Одними из самых востребованных при этом являются карты рельефа, которые используются разными отраслями наук: геоморфологией, геологией, геофизикой, гидрологией, метеорологией и климатологией, ландшафтоведением, почвоведением. Многочисленные споры в геоморфологии и картографии связаны с методическими принципами построения карт рельефа. Однако неизменными остаются три основных требования к изображению рельефа на картах: метричность, пластичность, морфологическое соответствие.

Во втором разделе диссертации представлен обзор цифровых моделей рельефа, рассмотрен ряд глобальных ЦМР и оценка их точности, обоснован выбор в пользу ЦМР SRTM для среднемасштабных региональных исследований, рассмотрено понятие геоморфометрия.

Развитие геоинформационных технологий и появление глобальных ЦМР существенно упростило как получение массового количественного материала по рельефу, так и его обработку с помощью морфометрического анализа. В настоящее время морфометрия (geomorphometry) практически является синонимом цифрового моделирования рельефа, цель которого – изучение геосистем в целом и рельефа как одного из компонентов, в частности.

В геоморфологических исследованиях на среднемасштабном уровне наиболее подходящей для использования является цифровая модель рельефа SRTM. По

своей точности она близка к топографическим картам масштаба 1 : 100 000. Однако для нее до сих пор актуальна проблема погрешностей и артефактов, вносимых растительностью. В идеальных условиях для морфометрических исследований должна использоваться модель «голой Земли», т. е. топографическая поверхность без наложенных объектов. Требования, предъявляемые к цифровой модели рельефа, должны отвечать целям исследования, масштабу и специфике района.

В третьем разделе рассмотрены принципы (континуальный/дискретный) и подходы (морфодинамический/морфогенетический) к картографированию рельефа, приведен обзор работ предшественников в области численного сегментирования рельефа, предложена технологическая схема методики, которая позволяет картографировать рельеф в зависимости от полноты знаний о его историко-генетических характеристиках, целей исследования и имеющейся основы (ЦМР определенного разрешения).

Рельеф может рассматриваться и как континуальная поверхность, и как дискретная. Континуальные модели рельефа широко используются в области наук о Земле, особенно в ландшафтоведении, геоботанике и др. Это в первую очередь топографические карты и цифровые модели рельефа, а также модели, производные от них. В то же время, разделение рельефа на отдельные объекты может быть полезно для многих научных дисциплин в области наук о Земле при комплексном тематическом картографировании. Дискретные карты сами по себе могут дать больше информации, чем простая визуализация рельефа в виде подложки, поскольку они содержат интерпретационные аспекты.

В рамках направления, ориентированного на дискретизацию рельефа при геоморфологическом картографировании, наиболее популярными являются морфодинамический и морфогенетический подходы. Выбор между морфогенетическим и морфодинамическим принципами в качестве основы разделения рельефа является предметом споров среди геоморфологов. Морфодинамический подход схож с методом пластики рельефа и предполагает мягкий переход от континуальности к дискретизации на основе естественной делимости земной поверхности на

морфологические элементы. Появление цифровых моделей рельефа и развитие ГИС-технологий дало толчок развитию морфогенетического направления в картографировании рельефа, в результате чего появились объяснительная морфометрия Симонова Ю. Г. и теория «геометрической подписи» Пайка Р. Эти подходы основаны на положении о том, что существует связь между формой рельефа и числовыми параметрами, используемыми для его описания, а также процессами, связанными с его генезисом и эволюцией. Такой подход позволяет строго на математической основе подойти к разделению поверхности на морфогенетические типы.

Разделение рельефа может проводиться с использованием различных подходов, включая классификацию морфометрических параметров, методы фильтрации, кластерный анализ и другие методы многомерной статистики. Современные методы автоматизированной классификации можно разделить на разные типы, например: 1) попиксельные; 2) объектно-ориентированные. В свою очередь, они так же могут отличаться в зависимости от классификатора: 1) классификатор, разработанный вручную на основе экспертных знаний и эмпирических данных; 2) классификатор, созданный алгоритмом машинного обучения. Также методы можно разделить по целевым единицам классификации: элементы рельефа, формы рельефа, типы рельефа и т. п. Наиболее часто используются инструменты многомерной статистики, реализованные в программных пакетах обработки космических снимков. Алгоритмы такой обработки можно разделить на три типа: *неуправляемая классификация, классификация с обучением, классификация на основе экспертной оценки.*

Анализ исследований предшественников привел нас к представлениям о том, что наиболее популярные из методик, используемых для сегментирования рельефа в рамках морфогенетического подхода, логично выстраиваются в определенную последовательность применения в зависимости от степени недоопределенности геоморфометрических данных, отражающих уровень полноты знаний о картографируемых объектах. В этом аспекте можно выделить несколько таких уровней, каждому из которых соответствует определенный набор технологических приемов и процедур (рисунок 1).

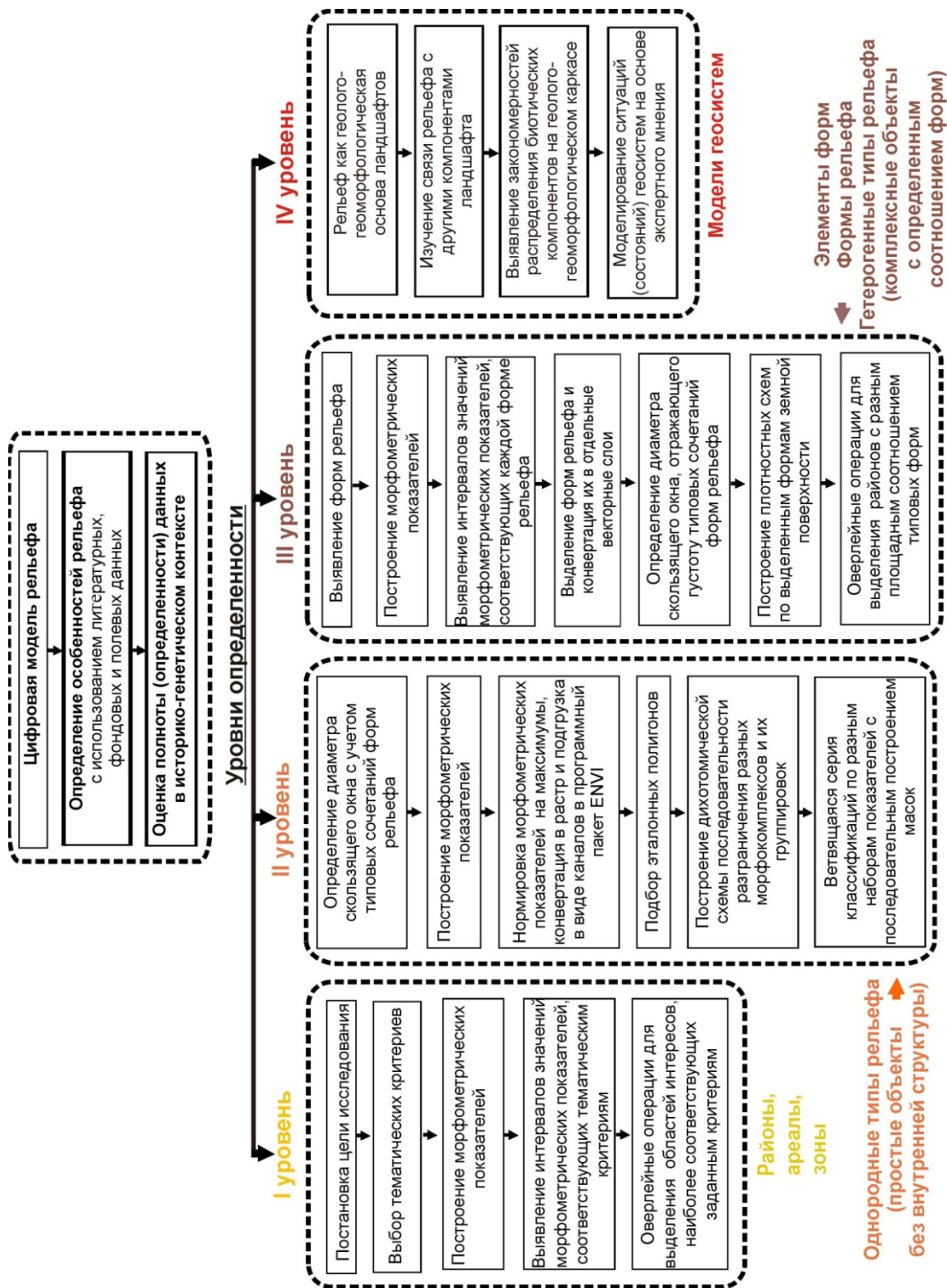


Рисунок 1 – Технологическая схема геоинформационного картографирования в рамках морфогенетического подхода

Таким образом, подход, ориентированный на распознавание геоморфологических объектов с определенными генетическими характеристиками по морфометрическим показателям, подразумевает предварительный этап проработки имеющихся данных, среди которых: данные государственного геологического картирования, литературные и фондовые источники о происхождении и возрасте рельефа изучаемой территории, материалы полевых исследований. Наличие таких данных характеризует уровень определенности в исследовании и позволяет выбрать подходящую технологию.

Каждому из четырех выделенных уровней полноты знаний о рельефе (и соответственно каждому уровню определенности морфогенетических данных) соответствует своя предметная область исследования. В первом случае (первый уровень определенности данных) рельеф рассматривается, как правило, лишь в одном из аспектов, исходя из задач какого-либо тематического исследования. То есть один или несколько параметров рельефа выступают вместе с другими тематическими данными из смежных специальностей в качестве индикаторов. Во втором случае – выделяются однородные (гомогенные) типы рельефа. В третьем – формы и гетерогенные типы рельефа (с определенным соотношением форм рельефа). Четвертый уровень (наиболее полный уровень знаний о рельефе) позволяет рассматривать рельеф как абиотическую составляющую геосистем. Технологические приемы предшествующих уровней могут быть использованы на более высоком уровне полноты знаний (определенности данных).

В четвертом разделе рассмотрена методика геоинформационного моделирования районов земной поверхности, удовлетворяющих условиям, задающимся пользователем, соответствующая первому уровню полноты знаний.

Процедура геоинформационного моделирования районов управляется пользователем. При этом критерии разрабатываются исходя из цели исследования. Такая методика позволяет решать различные тематические задачи, что можно проиллюстрировать на нескольких примерах.

1 *Геоинформационное моделирование палеообстановок обитания древнего человека в горах Алтая.* В качестве основных критериев, обуславливающих локализацию стоянок человека эпохи палеолита на территории Горного Алтая, по археологической экспертной оценке (Постнов А. В., Славинский В. С., Цыбанков А. А.) были выделены: *наличие ровных пологих площадок* (морфометрический показатель уклона рельефа); *тепло-светообеспеченность* (на июль и январь было создано несколько теневых моделей рельефа по ЦМР с разным углом и высотой Солнца на время восхода, полдень, заход, а также две промежуточные); *близость к источникам каменного сырья* (взяты с векторной геологической карты); *водообеспеченность* (построены буферные зоны с радиусом 400 м вокруг рек).

Сопряженный анализ этих характеристик позволил выделить районы с благоприятными условиями для палеолитического человека (рисунок 2). Это позволяет оптимизировать поиск памятников каменного века, а также строить прогнозы и прокладывать рекогносцировочные маршруты при археологических исследованиях. Результаты были подтверждены полевой верификацией.

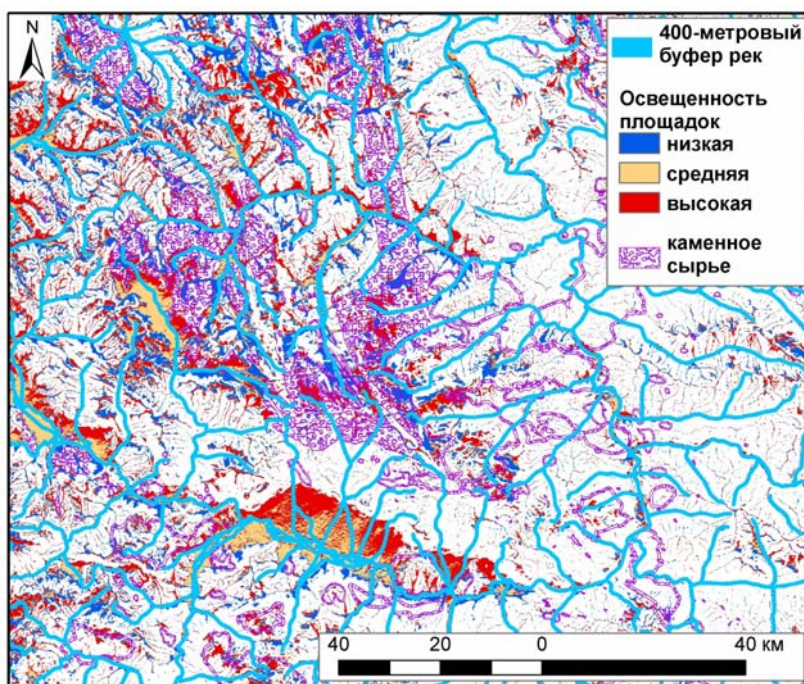


Рисунок 2 – Геоинформационная модель условий обитания, благоприятных для проживания древнего человека в горах Алтая (фрагмент)

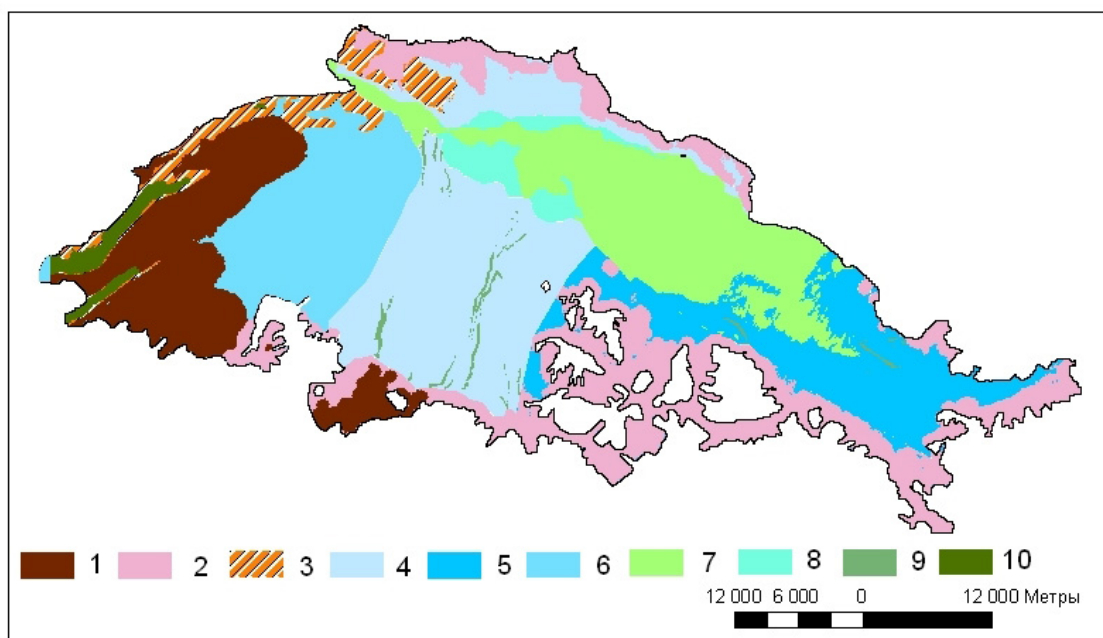
2 Неотектоническое районирование северо-запада Горного Алтая. Морфометрические показатели на разных масштабных уровнях отображают разные особенности геологического строения территории: от литологического состава комплексов пород (является важным параметром, определяя различную уязвимость к эрозионно-денудационным процессам) до докайнозойского структурного плана. При среднемасштабном неотектоническом районировании территорий морфометрический анализ эффективен для создания схем блочной делимости путем реконструкции высотных уровней древнего пенеплена. Методика проиллюстрирована на примере Чуйской межгорной котловины и ее обрамления.

3 Мониторинг процессов нарастания аридности климата на юге Западно-Сибирской равнины. Районирование территории по распространению отдельных объектов-индикаторов позволяет выявить определенные закономерности и отобразить их на картах. Примером служит районирование территории Барабинской равнины по степени заозеренности. Озера данного района исследования являются надежными индикаторами процессов аридизации. Поскольку на данной территории широкое распространение имеют бессточные озерные котловины, то условия атмосферного увлажнения оказывают значительное влияние на уровень воды в них. При этом с помощью морфометрического анализа удалось установить современный уровень озер (по водному зеркалу) и более древний – по бортам котловин. Использование данной технологии для картографирования и мониторинга процессов аридизации на юге Западно-Сибирской равнины позволило сделать вывод, что в процессе аридизации территории происходила дефрагментация областей однородной заозеренности. Таким образом, было выявлено, что изменчивость природно-территориальных комплексов может быть описана моделью очагово-дискретных преобразований практически всей территории, а не моделью постепенных изменений с севера на юг.

В пятом разделе рассмотрены однопараметрическая и многопараметрическая классификации типов рельефа по морфометрическим показателям, соответствующие второму уровню полноты знаний о рельефе.

Для использования данной технологической ветки характерна более полная определенность геоморфометрических данных, однако они не подразделяются на таксономические единицы более дробные, чем тип рельефа (формы и элементы рельефа). Такая ситуация может быть связана, например, с пространственным разрешением цифровых моделей рельефа, недостаточным для дробной сегментации на формы рельефа (которую невозможно проводить на субпиксельном уровне), или же с геоморфологической спецификой района. Однородные типы рельефа могут выделяться на основе неуправляемых и управляемых классификаций, факторного анализа, нейронных сетей и т. п.

Подход апробирован на примере Чуйской межгорной котловины (рисунок 3), где было выявлено 10 типов рельефа: гляциальный ложбинно-грядовый, эрозионный ложбинно-овражный, делювиально-пролювиальный, озерный на морене, озерный на алевропесках, озерный с барами, аллювиальный долины р. Чуи, аллювиальный притоков, аллювиальный врезанных долин, термокарстовый. Все диагностированные типы рельефа были распознаны на основе пошаговой ветвящейся серии управляемых классификаций.



1 – гляциальный ложбинно-грядовый; 2 – делювиально-пролювиальный; 3 – эрозионный ложбинно-овражный; 4 – озерный на алевропесчаном основании; 5 – озерный с барами; 6 – озерный на моренном цоколе; 7 – аллювиальный многорукавной долины р. Чуи; 8 – термокарстовый; 9 – аллювиальный врезанных долин; 10 – аллювиальный притоков р. Чуи

Рисунок 3 – Специальная карта типов рельефа Чуйской котловины

Для повышения точности разделения использовалось предварительное районирование территории на неотектонические сегменты, а также разграничение пространства распознавания и количества выделяемых классов рельефа путем построения масок.

На основе предварительного анализа морфометрических показателей построена ветвящаяся схема разделения рельефа на отдельные типы. В каждой точке территория разбивается дихотомически и так продолжается до появления неделимой части, которая и представляет собой отдельный тип рельефа. Для каждой точки ветвления подбираются наиболее эффективные морфометрические параметры.

В шестом разделе рассмотрена методика геоинформационного картографирования гетерогенных типов рельефа по соотношению доминирующих форм рельефа в скользящем окне, которая относится к третьему уровню определенности геоморфометрических данных.

На третьем уровне степени информационной определенности возможно с достаточной степенью точности и адекватности выделять формы рельефа разного генезиса на основе их морфометрических характеристик, а также типы рельефа, представляющие собой области распространения определенных сочетаний разных форм. Для этого уровня формы рельефа могут выделяться на основе целевых морфометрических признаков и их сочетаний, а типы рельефа – на основе сопряженного анализа плотностных моделей, построенных для каждого класса выделенных форм.

Методика апробирована на территории Барабинской равнины, рельеф которой состоит из грив, озерных котловин, полого-волнистой равнины, в различной степени осложненной холмами и западинами. После того как все формы (гривы и озерные котловины) были выделены по морфометрическим показателям, подбирался размер скользящего окна для построения плотностных схем, оконтуривающих области их распространения. На основе оверлея получены контуры комплексного гривно-озерного рельефа. Таким образом, по удельному площадному соотношению форм рельефа построена специальная карта следующих типов

рельефа: озерного, гривного, гривно-озерного и полого-равнинного, фрагмент которой представлен на рисунке 4.

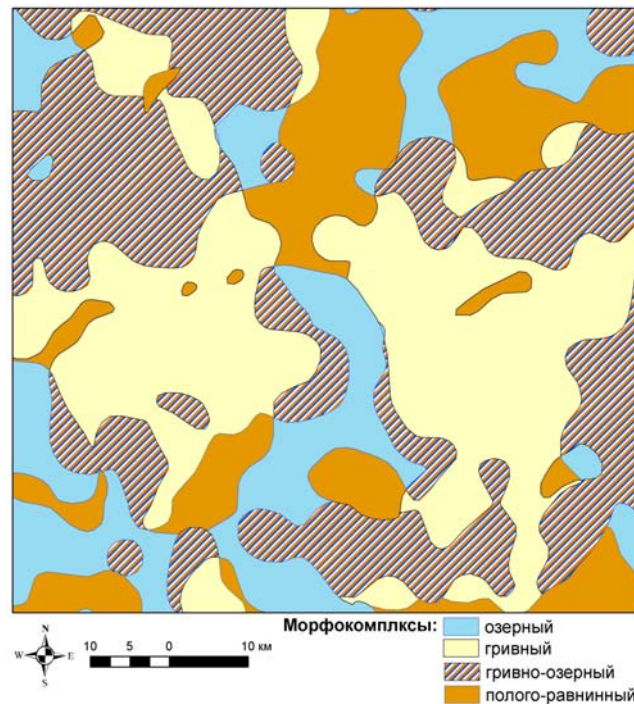


Рисунок 4 – Фрагмент специальной карты типов рельефа эталонного участка Венгеровского района

В седьмом разделе рассмотрена методика ретроспективного и прогнозного картографирования на основе геоморфологических баз данных, которая относится к четвертому уровню определенности данных.

Четвертый уровень (наиболее полный уровень знаний о рельефе) позволяет рассматривать рельеф как абиотическую составляющую геосистем. Исследование на данном уровне предполагает анализ функционального значения конкретных форм и типов рельефа, учитывает их динамические и статические свойства как геолого-геоморфологической основы природно-территориальных комплексов. Комплексирование этих данных с данными по биотическим компонентам делает возможным ретроспективное и прогнозное моделирование геосистем. Подход апробирован на примере Барабинской равнины, для которой построены две модели.

1 Геоинформационные ретроспективные модели на основе сочетания геологической (палеогеографической) и археологической информации с данными по гео-

лого-геоморфологическому каркасу. В качестве биотического индикатора для оценки изменения климата мы используем такие обобщенные типы растительности, как луга, болота, степи, леса. Однако, в голоцене для изучаемой территории в качестве ключевого индикатора можно использовать археологические данные. Древние люди выступают как исторический критерий изменений палеосреды. Смена климата для древнего человека сопровождалась сменой типа хозяйствования в связи со сменой кормящего ландшафта. Модели кормящих ландшафтов для разных обстановок увлажнения составлены на основе экспертного мнения геоботаников (Лазинский Н. Н. и Королюк А. Ю. ЦСБС СО РАН). Таким образом, растительность на изучаемой территории чутко реагирует на динамику увлажнения, а люди – на динамику растительности. Были построены три специальные карты обстановок природной среды в зависимости от условий увлажнения: минимальное (иссушенное), умеренное, максимальное (рисунок 5).

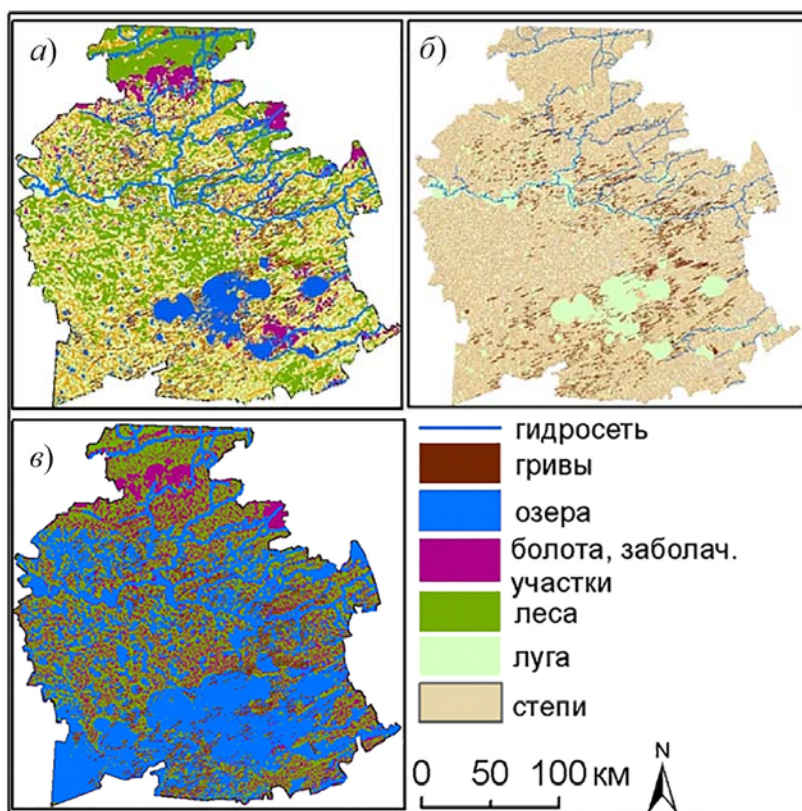


Рисунок 5 – Специальные карты обстановок природной среды в голоцене: а) умеренные условия, близкие к современным; б) условия максимального иссушения; в) условия максимального увлажнения

2 Геоинформационные прогнозные модели на основе ранжирования территории по степени уязвимости к экзогенным процессам в зависимости от динамики климата. Изменения климатического увлажнения территории опасны как сами по себе, так и последствиями, поскольку могут приводить к активизации ряда экзогенных процессов (ветровой и водной эрозии почв, засолению/рассолению почвенно-грунтовой толщи и другим негативным последствиям). При этом одни формы и типы рельефа придают устойчивость геосистемам к внешним воздействиям, а другие – обуславливают повышенную уязвимость. Для равнинных территорий с близким залеганием к поверхности грунтовых вод большое значение имеет взаимосвязь параметров рельефа и увлажнения (грунтового и климатического). Построение схемы уязвимости включает ряд процедур, последовательность которых представлена на рисунке 6.

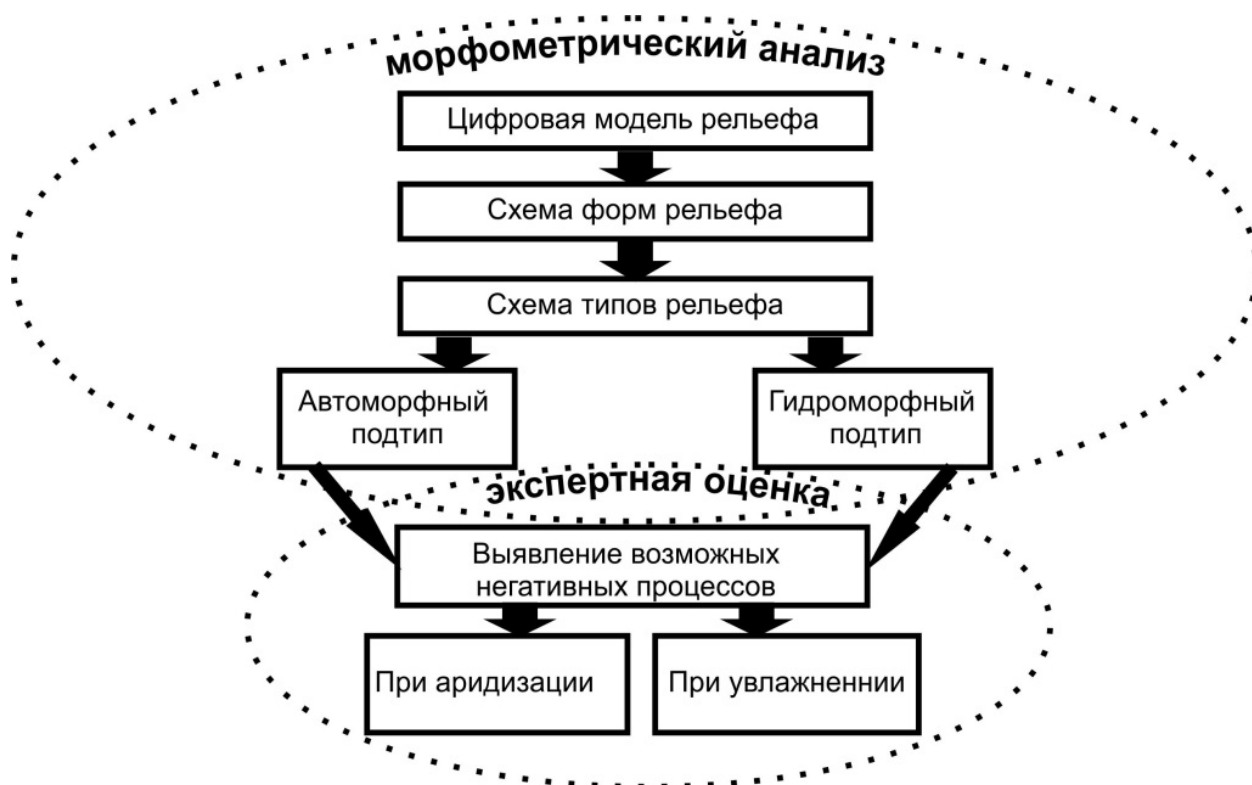


Рисунок 6 – Методика выявления наиболее уязвимых территорий при активизации экзогенных процессов, обусловленных иссушением/увлажнением климата

В соответствии с указанной технологической последовательностью построены специальные карты ранжирования территории по степени уязвимости при активизации экзогенных процессов, обусловленных иссушением/увлажнением климата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного диссертационного исследования поставленная цель, направленная на разработку методики геоинформационного картографирования форм и типов рельефа в рамках морфогенетического подхода (на примере районов юга Западной Сибири), достигнута.

Итоги проведенного исследования заключаются в следующем:

– рассмотрена история развития и становления геоинформационного картографирования, выполнен анализ работ предшественников в области картографирования рельефа;

– составлена технологическая схема, которая позволяет рассматривать методику картографирования рельефа в зависимости от полноты знаний о его историко-генетических характеристиках и разработать набор технологических приемов для каждого случая;

– разработана методика геоинформационного моделирования районов земной поверхности, удовлетворяющих условиям, задающимся пользователем. Методика показала свою эффективность в решении конкретных задач прогноза в смежных с геоморфологией областях исследования;

– разработана методика однопараметрической и многопараметрической классификации гомогенных типов рельефа по морфометрическим показателям. Результаты ее применения рассмотрены на примере Чуйской межгорной котловины, территория которой разделена на 10 типов рельефа;

– разработана методика геоинформационного картографирования гетерогенных типов рельефа по соотношению доминирующих форм рельефа в скользящем окне. Результаты ее применения рассмотрены на примере Барабинской равнины, территория которой разделена на четыре типа рельефа;

– разработана методика ретроспективного и прогнозного картографирования на основе геоморфологических баз данных. Результаты ее применения рассмотрены на примере Барабинской равнины.

Полученные результаты могут быть использованы органами местного самоуправления Новосибирской области и Алтайского края для разработки рекомендаций по оптимизации хозяйственного использования земель, прогнозу неблагоприятных природных и природно-техногенных явлений и планированию защитных мероприятий.

Перспективы дальнейших исследований состоят в совершенствовании методики и ее точности, а также в адаптации ее к территориям с другой спецификой рельефа.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Чупина, Д. А. ГИС-картографирование морфокомплексов на основе морфометрических характеристик и управляемых классификаций [Текст] / Д. А. Чупина, И. Д. Зольников, В. А. Лямина // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2012. – № 2. – С. 96–103.

2 Чупина, Д. А. Геоинформационное картографирование форм и типов рельефа на основе морфометрического анализа [Текст] / Д. А. Чупина, И. Д. Зольников // Геодезия и картография. – 2016. – № 6. – С. 35–43.

3 ГИС-моделирование условий обитания, благоприятных для проживания древнего человека в горах Алтая [Текст] / И. Д. Зольников, А. В. Постнов,

В. А. Лямина, В. С. Славинский, Д. А. Чупина // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2013. – № 3 (55). – С. 40–47.

4 Чупина, Д. А. Автоматическое выделение форм и комплексов рельефа на основе морфометрического ГИС-анализа (на примере Венгеровского района Новосибирской области) [Текст] / Д. А. Чупина // Геоморфология. – 2014. – № 3. – С. 43–50.

5 Геоинформационное картографирование территории по реакции к иссушению и увлажнению (юг Западно-Сибирской равнины) [Текст] / Д. А. Чупина, И. Д. Зольников, Е. Н. Смоленцева, Н. Н. Лашинский, А. В. Никулина, А. А. Картозия // Изв. РАН. Серия географическая. – 2018. – № 5. – С. 81–90.

6 Методика использования ГИС-технологий для анализа пространственной локализации поселений на примере эпох бронзы, раннего железного века, средневековья в центральной части Барабинской низменности [Текст] / А. В. Никулина, И. Д. Зольников, Я. В. Кузьмин, О. В. Софейков, Д. А. Чупина, Н. В. Глушкова, Д. В. Пчельников // Вестник Томского гос. ун-та. – 2018. – № 428. – С. 5–13.

7 Анализ пространственного распределения археологических памятников центральной части Барабинской лесостепи (Венгеровский район Новосибирской области) на основе ГИС-технологий [Текст] / Я. В. Кузьмин, И. Д. Зольников, О. И. Новикова, Н. В. Глушкова, Д. А. Чупина, О. В. Софейков, Д. Е. Ануфриев, В. Н. Дементьев // Вестник Новосибирского гос. ун-та. Сер.: История, филология. – 2013. – Т. 12, № 7. – С. 87–96.

8 Картографирование и мониторинг процессов аридизации на юге Западно-Сибирской равнины [Текст] / Н. В. Глушкова, Д. А. Чупина, Д. В. Пчельников, И. И. Болдырев, Н. А. Селятицкая // География и природные ресурсы. – 2016. – № 1. – С. 133–140.

9 GIS and Remote Sensing Data–Based Methods for Monitoring Water and Soil Objects in the Steppe Biome of Western Siberia / I. D. Zolnikov, N. V. Glushkova, E. N. Smolentseva, D. A. Chupina, D. V. Pchel'nikov, V. A. Lyamina // Novel Methods for Monitoring and Managing Land and Water Resources in Siberia / Eds.: Mueller, Lothar, Sheudshen, Askhad K., Eulenstein, Frank. – Springer, 2016. – P. 253–268.