

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Пермский государственный аграрно-технологический университет  
имени академика Д.Н. Прянишникова»

А.А. Васильев, Е.С. Лобанова, А.Н. Чащин

**МАГНИТОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА ПОЧВ  
УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

*Учебно-методическое пособие*

Пермь  
ИПЦ «Прокростъ»  
2019

УДК 91:528  
ББК 26.17  
В 739

*Рецензенты:*

А.Н. Шихов, доцент кафедры картографии и геоинформатики ПГНИУ,  
кандидат географических наук.

С.В. Лихачев, доцент кафедры экологии ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ, кан-  
дидат сельскохозяйственных наук

### **В739 Васильев, А.А.**

Магнитометрическая съемка почв урбанизированных территорий : учебно-методическое пособие / А.А. Васильев, Е.С. Лобанова, А.Н. Чащин; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова. – Пермь : ИПЦ «ПрокростЪ». – 74 с ; 29 см. – Библиогр.: с.70-71. – 50 экз. – ISBN 978-5-94279-460-6. – Текст : непосредственный.

В учебно-методическом пособии представлены основные этапы магнитометрической съемки почвенного покрова урбанизированных территорий и их содержание. На основе применения ГИС-технологий показана разработка картографической основы, ее использование в навигационном оборудовании при полевом этапе съемки, а также порядок пространственной интерполяции и оформления итоговой карты магнитной восприимчивости почв. Описана интерпретация непрерывной поверхности методами пространственного анализа ГИС. Материалы учебного издания предназначены для приобретения прикладных навыков почвенно-экологического картографирования с применением геоинформационной системы QGIS с открытым кодом.

Учебно-методическое пособие предназначено для обучающихся (очная форма) по направлению подготовки 06.03.02 Почвоведение.

**УДК 91:528**  
**ББК 26.17**

Утверждено в качестве учебно-методического пособия методической комиссии факультета почвоведения, агрохимии, экологии и товароведения ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ (протокол № 13 от 04 июня 2019 г.).

**ISBN 978-5-94279-460-6**

© ИПЦ «ПрокростЪ», 2019  
© Васильев А.А., 2019  
© Лобанова Е.С., 2019  
© Чащин А.Н., 2019

## Содержание

<b>Введение</b> .....	4
<b>1. Камеральный подготовительный этап</b> .....	6
1.1. Получение исходных данных для картографической основы.....	6
1.2. Отображение данных. Начало работы в QGIS.....	7
1.3. Создание участка магнитометрической съемки.....	8
1.4. Подготовка точек наблюдений.....	15
1.5. Экспорт картографической основы в навигационное оборудование.....	21
<b>2. Полевой этап</b> .....	24
<b>3. Завершающий камеральный этап</b> .....	27
3.1. Математическая обработка.....	27
3.2. Подготовка набора слоев для картограммы.....	30
3.3. Пространственная интерполяция восприимчивости почв.....	32
3.4. Оформление карты объемной магнитной восприимчивость почв	50
3.5. Практическое использование карты восприимчивости почв.....	59
<b>Заключение</b> .....	69
<b>Библиографический список</b> .....	70
<i>Приложение 1. Карты и схемы МВ почвенного покрова городов</i> .....	72

## Введение

Изучение магнитной восприимчивости почв является одним из экспресс-методов оценки техногенной нагрузки на почвенный покров урбанизированных территорий. Магнитометрическая съемка почв позволяет в сжатые сроки без существенных затрат обследовать загрязненную тяжелыми металлами территорию. Загрязненные тяжелыми металлами почвы имеют повышенные значения магнитной восприимчивости.

Данный показатель можно оперативно измерять с большим числом точек опробования. Результатом магнитометрической съёмки является значительный массив пространственных данных. Информация, собранная в результате измерений, будет иметь наибольшую ценность в форме картографических материалов. На сегодняшний день профессиональное создание карт основано на геоинформационном картографировании, которое подробно раскрыто в данном издании на примере объемной магнитной восприимчивости почв одного из районов г. Перми.

Применение геоинформационных систем является важной составляющей геоэкологоического картографирования урбанизированных территорий. При выборе программных средств для создания картографических материалов, важное значение имеют функциональные возможности приложений и условия их использования. Большинство полнофункциональных ГИС – программ предлагают дорогую лицензию, и поэтому актуальным становится вопрос изучения ГИС-приложений с открытым кодом. В связи с этим, наилучшим по условиям использования является бесплатное полнофункциональное ГИС-приложение Quantum GIS (QGIS). QGIS – это свободная географическая информационная система с открытым кодом, поддерживающая множество векторных и растровых форматов.

В данном учебном издании описаны работы по проведению магнитометрической съемки почв на примере одного из районов города Перми. Они разделены на 3 этапа. Камеральный подготовительный этап содержит подготовку исходных данных и картографической основы. Полевой этап описывает выполнение измерений на местности с применением мобильного ГИС-приложения. Завершающий камеральный этап включает обработку результатов измерений, оформление карт и их анализ.

Учебно-методическое пособие предназначено для обучающихся по направлению подготовки 06.03.02 Почвоведение. Пособие составлено в соответствии с рабочей программой дисциплины «Мониторинг почв и почвенного покрова», раскрывает Раздел II. «Мониторинг неблагоприятных почвенных процессов» данной учебной дисциплины и способствует формированию следующих компетенций:

- владением теоретическими основами исследования почвенного покрова природных и антропогенных объектов, а также организации и планирования работ по изучению почв;

- способностью составлять научно-технические отчеты, обзоры, аналитические карты и пояснительные записки.

В результате изучения дисциплины «Мониторинг почв и почвенного покрова» студент должен:

Знать основы геоинформационного картографирования, содержание основных этапов почвенного картографирования, основы геостатистических методов в почвоведении и экологии.

Уметь использовать изученные прикладные программные средства в пространственном моделировании свойств почвенного покрова.

Владеть навыками создания проектов в геоинформационных программных продуктах; использования мобильных ГИС-приложений при полевой магнитометрической съемке почвенного покрова; математической обработки, систематизации и картографирования собранной в полевых условиях информации.

# 1. Камеральный подготовительный этап

Контурная основа карты свойств почв должна содержать следующие элементы: гидрография, пути сообщения, населенные пункты, границы. Однако для городской территории актуальным будет добавление отдельных зданий, с целью оценки эколого-геохимической обстановки на территории социально-значимых объектов города: детские сады, школы, санатории, больницы и так далее. Рассмотрим подготовку контурной электронной основы карты объемной магнитной восприимчивости почв на примере левобережной части Ленинского района г. Перми.

## 1.1. Получение исходных данных для картографической основы

В качестве источника контурной основы для магнитометрической съемки урбанизированной территории может служить векторная карта. На векторной карте информация организована в виде тематических слоев. Открытым электронным источником геопривязанных векторных данных является «Банк пространственных данных». Для получения необходимого набора данных нужно зайти на сайт «Банк пространственных данных» по адресу <http://spatialdb.net>. Во вкладке карты набрать «Пермский край». Затем в колонке «Файл данных» нажать «Скачать» (рис. 1).

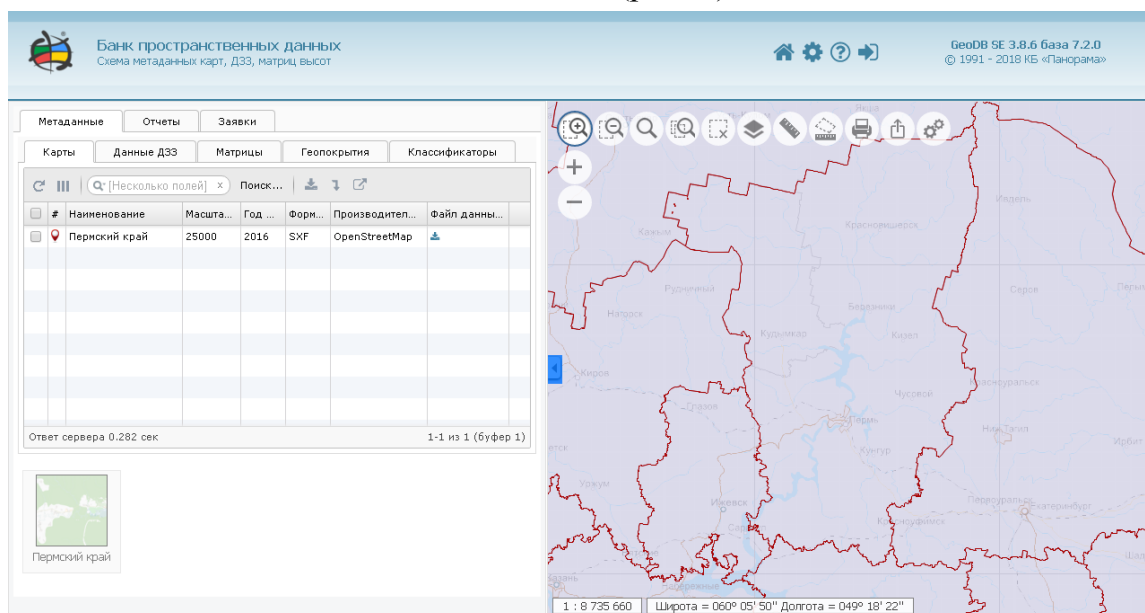


Рис. 1. Получение карты из банка пространственных данных

В результате будет получен архив данных под именем «20181014.090102.ANONYMOUS.RU-PER.sxf». Скаченный архив необхо-

димо распаковать в папку, содержащую кириллицу. Для дальнейшей работы в QGIS место хранения данных может иметь вид:

D:\qgis\20181014.090102.ANONYMOUS.RU-PER.sxf. Также данные можно скачать с источника [https://gisinfo.ru/price/price\\_map.htm#osmfree](https://gisinfo.ru/price/price_map.htm#osmfree).

## 1.2. *Отображение данных. Начало работы в QGIS*

Источником программы **QGIS** является официальный сайт разработчика (Международная некоммерческая организация OSGeo), который расположен по адресу [qgis.org](http://qgis.org). После установки, программа запускается по ярлыку с именем «QGIS Desktop». Рабочее окно программы с обозначением необходимых для начала работы панелей представлено на рисунке 2.

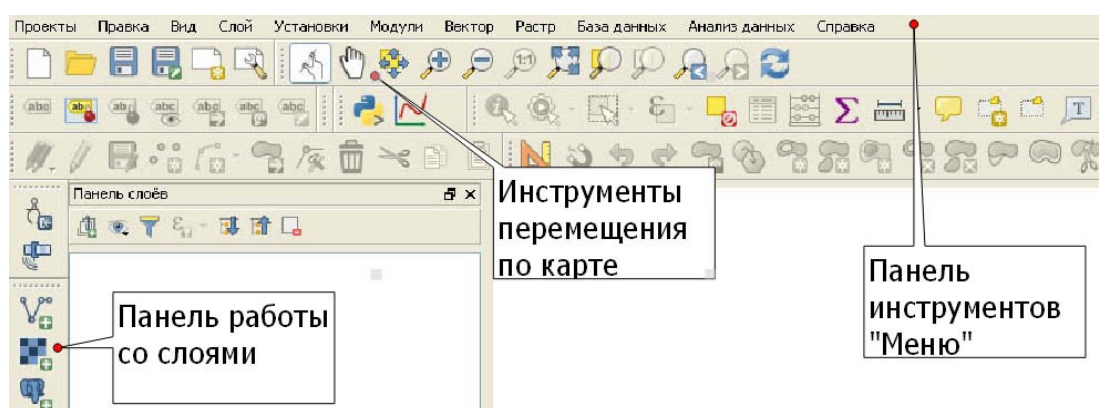



Рис. 2. Фрагмент рабочего окна QGIS

Панель **работы со слоями** предназначена для добавления в окно карты новых слоев. **Инструменты перемещения по карте** нужны для изменения масштаба карты и сдвига ее изображения. Панель инструментов «**Меню**» содержит все команды и функциональные возможности QGIS.

Началом работы в QGIS является создание проекта. Для этого на панели инструментов «Меню» выполнить «Проекты» → «Сохранить как». Тип файла **Проекты QGIS (\*.qgis\*.QGS)**. Важно сохранить проект в папке **не содержащей в пути кириллицы** и пробелов (например, на локальном диске). Имя проекта также должно быть введено латинскими буквами (например, Project). Таким образом, адрес проекта может быть записан: **D:\qgis\Project**.

Настройка системы координат проекта. Для корректного отображения данных необходимо настроить систему координат проекта: Проекты → Свойства проекта → вкладка «Система координат». Вверху окна отметить «перепроецирование координат». Выбрать спроецированную систему координат для Пермского края **WGS 84/ UTM zone 40N EPSG 32640** (или ввести в поиске 32640).

## Добавление векторных данных в проект

Добавление векторного слоя выполняется с помощью кнопки  «Добавить векторный слой» на панели работы со слоями. Из архива **20181014.090102.ANONYMOUS.RU-PER.sxf** выбрать файл **RU-PER.sxf**. Нажать «Добавить». В появившемся окне Select Vector Layers to Add, удерживая **ctrl** выбрать слои: «water» (гидрография: 2 слоя линии – «line string» и полигоны – «polygon»); «roaddesign» (улицы); «buildings» (здания, тип геометрии «polygon»); «boundarivs» (административно-территориальное деление), затем нажать ОК. После этого окно Data Sours Manager можно закрыть. На экране появится карта Пермского края, состоящая из выбранных векторных слоев. Сами слои перечислены на панели слоев (рис. 3).

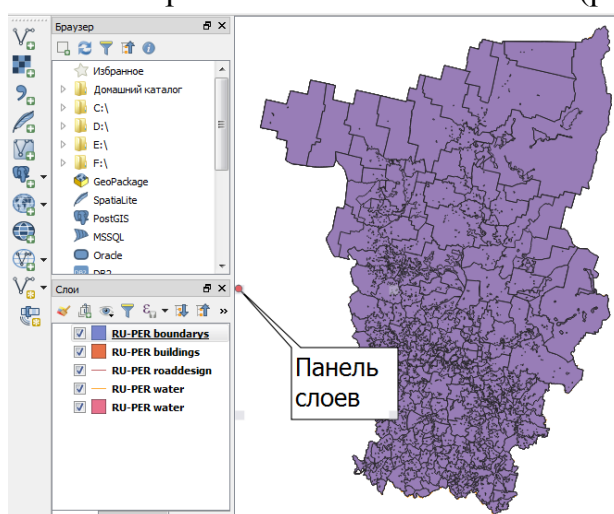


Рис. 3. Вид карты источника «Банк пространственных данных»

### 1.3. Создание участка магнитометрической съемки

Рассмотрим технологию магнитометрической съемки почвенного покрова на примере территории левобережной части Ленинского района, расположенной в центре г. Перми.

Сначала на карте нужно определить местоположение данной территории. Для этого будет удобнее использовать растровую карту с надписями, а векторные слои можно отключить. Наилучшим способом организации множества векторных слоев на панели слоев является группа. Чтобы ее создать, нужно нажать правой кнопкой мыши по белому фону панели слоев и выбрать «Добавить группу». Ввести название группы, например, «Слой **Spatialdb**». Затем удерживая клавишу **shift** выделить векторные слои и перетянуть их в созданную группу.

Растровая карта «**OpenStreetMap**» добавляется через окно браузера, которое расположено над панелью слоев: браузер → **xyz tiles** → **OpenStreetMap**. На этой карте легко увидеть нужный населенный пункт и увеличив изображение отобразить его, как это показано на рисунке 4.



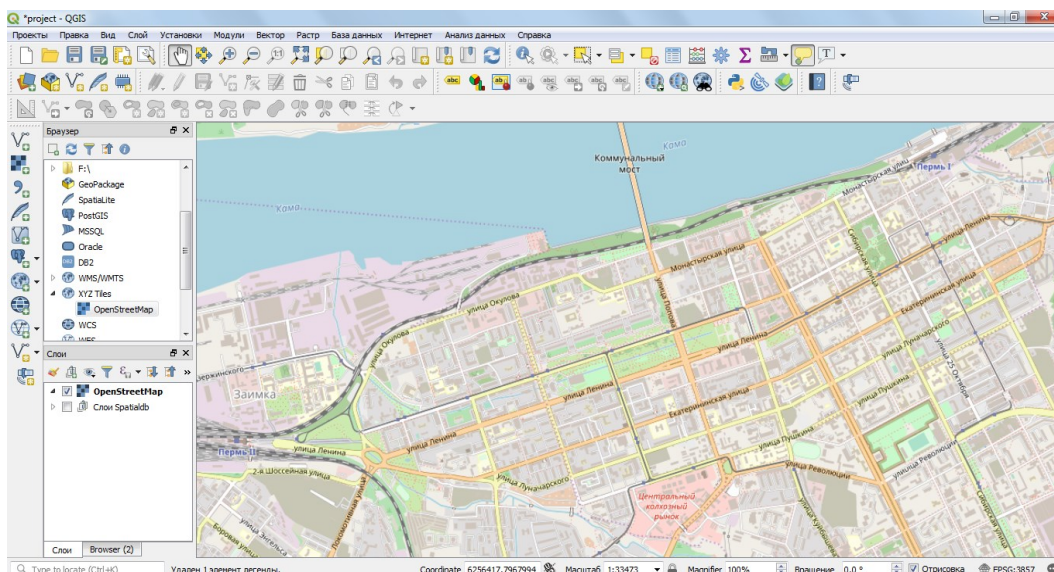


Рис. 4. Левобережная часть Ленинского района на карте OpenStreetMap

Для выделения границ левобережной части Ленинского района г. Перми понадобится 2 слоя из группы «Слой spatial db»: **RU-PER boundaries** и **RU-PER water** (для работы в версиях QGIS до 3.2 данные слои нужно сохранить в формате ESRI – шейп-файл). Чтобы их отобразить, нужно отключить растр OpenStreetMap и подключить группу «spatial db», в которой оставить отмеченными только 2 указанных слоя. Чтобы увидеть границу района в пределах р. Кама нужно слой RU-PER water поместить над слоем RU-PER boundaries (рис. 5). Это можно выполнить, удерживая левую кнопку мыши.

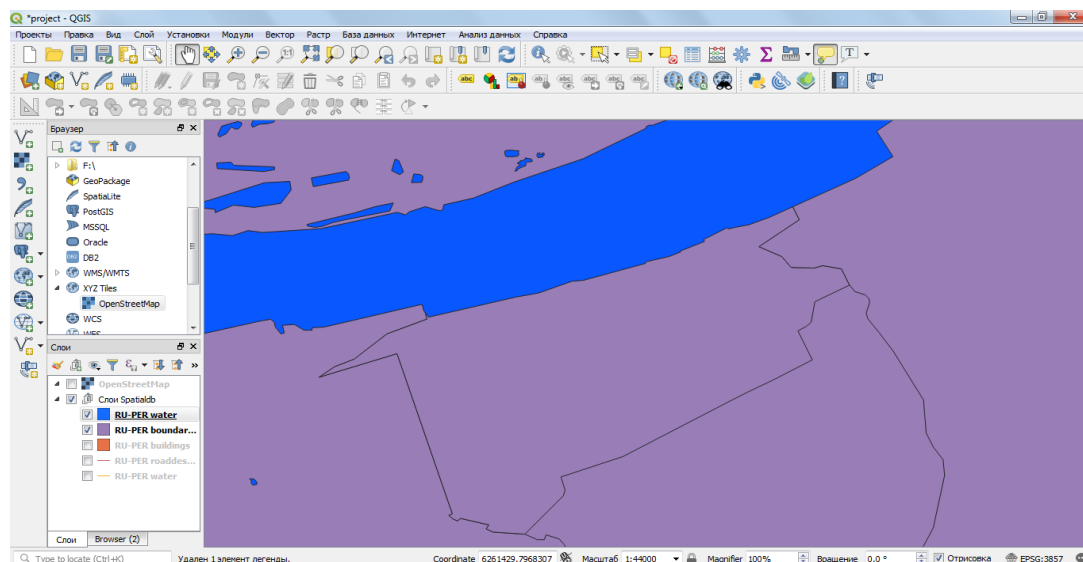


Рис. 5. Отображение слоев water и boundaries

Таким образом, границы территории обследования должны быть ограничены реальными границами района, а с севера береговой линией р. Кама. Для этого нужно выполнить следующие действия:


1). Выделить исходные объекты инструментом «Выбрать...»  : река и район выделяются желтым цветом (рис. 6).



Рис. 6. Вид выделенных на карте объектов

2) Выполнить команду: Вектор → геообработка → разность. Заполнить диалог «Разность» как показано на рисунке 7.

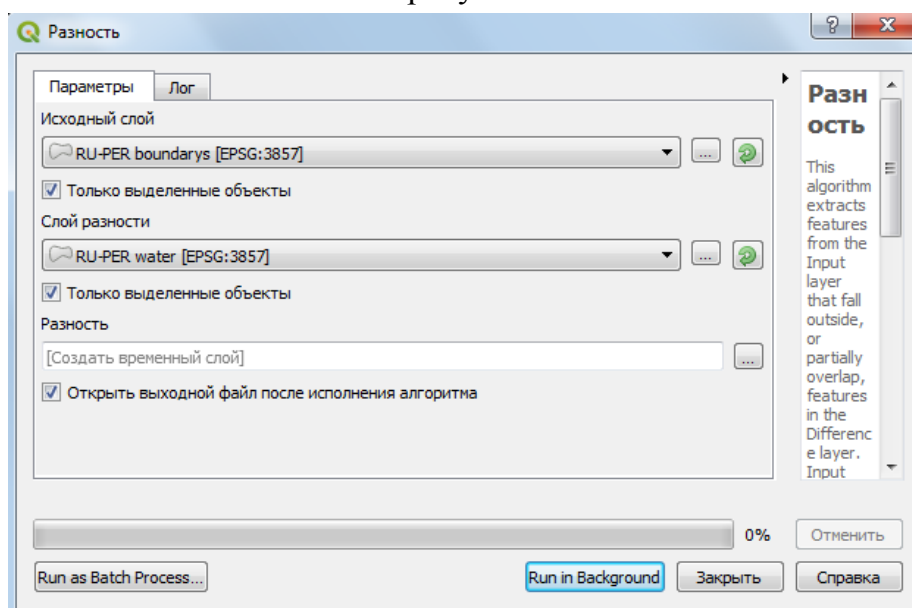


Рис. 7. Параметры заполнения разности слоев

Обязательно отметить для обоих слоев «**Только выделенные объекты**». После заполнения нажать **Run in Background** (или в других версиях выполнить). В результате операции будет создан слой «Разность», который отобразится на панели слоев. Исходные слои можно отключить и слой «разность» станет виден. Он содержит в себе разделенные части района – левобережную и правобережную. При этом они являются единым объектом, если выделишь одну часть, то будут выбраны обе (рис. 8).

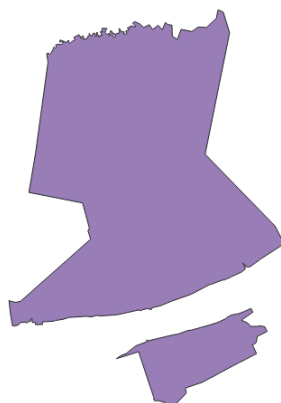



Рис. 8. Картографическое изображение слоя «Разность»

3). Для выделения в отдельный слой левобережной части Ленинского района следует выполнить: Вектор → обработка геометрии → разбить составные объекты (в более ранних версиях QGIS – до 3.2 эта функция выбирается через  «панель инструментов»). Заполнить окно «Разбить составные объекты» как показано на рисунке 9 и нажать **Run in Background**.

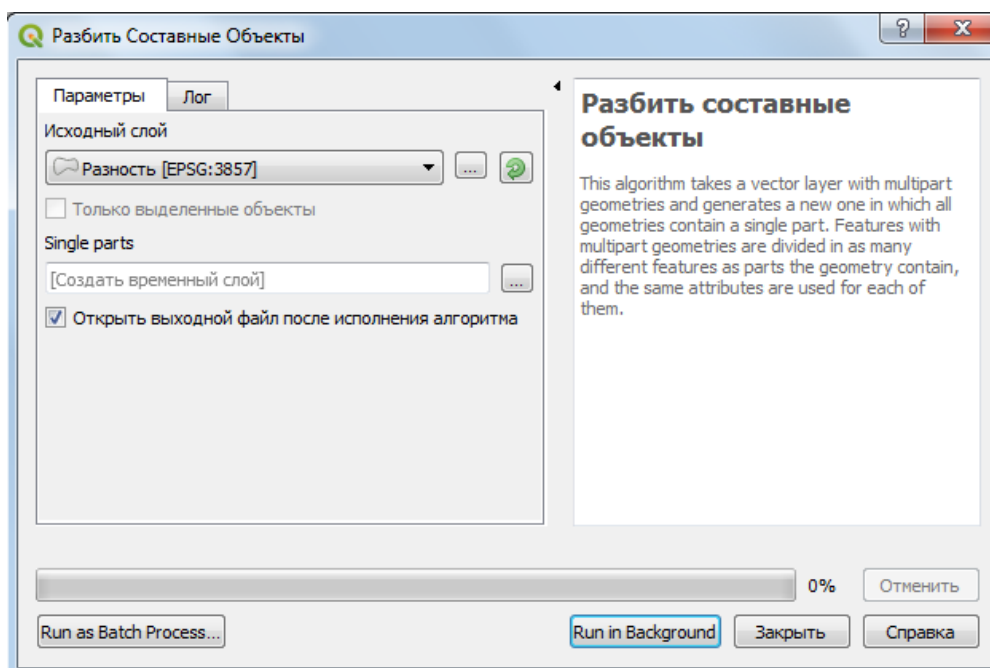



Рис. 9. Параметры диалога «Разбить составные объекты»

В результате этой операции будет создан слой «**Single parts**».

4). Сохранение выделенных границ левобережной части города. В слое «**Single parts**» выбрать инструментом «Выбрать...»  левобережную часть района. Затем на панели слоев нажать правой

кнопкой мыши по слою «**Single parts**» и выбрать способ его экспорта, **Save Features As...** как показано на рисунке 10 (в более ранних версиях QGIS экспорт называется: «Save as»; «Сохранить как»)

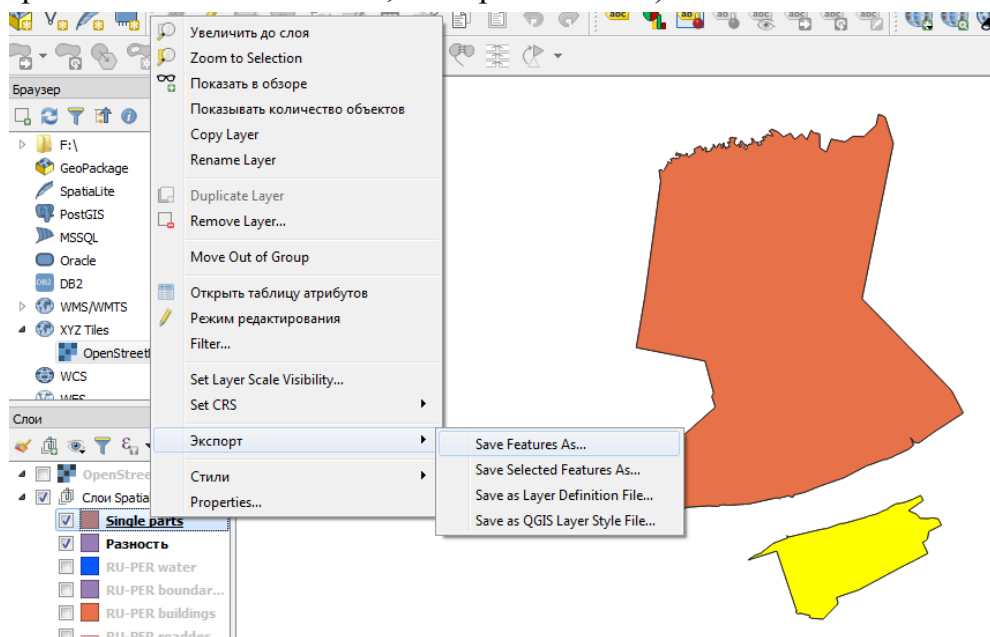



Рис. 10. Сохранение слоя нужного участка

Сохранение выбранного объекта в виде слоя требует правильного заполнения параметров «Сохранить векторный слой как». Первым заполняется поле «Имя файла». Главным условием является отсутствие кириллицы в названии файла и пути к нему. Также, следует отметить, что векторный слой в программе QGIS содержит 5 файлов со следующими расширениями:

- \*. dbf – файл атрибутивных данных;
- \*. prj – файл, содержащий информацию о проекции (с ограниченным набором параметров проекции);
- \*. qpj – файл, полностью описывающий параметры используемой системы координат;
- \*. shp – шейп файл, содержащий геометрическую форму векторных объектов;
- \*. shx – файл, содержащий вспомогательную информацию (индексный файл). Он нужен при поиске объектов [9].

Для удобства и порядка необходимо сохранять каждый вновь создаваемый слой в отдельную папку, а не в одну папку с другими ранее созданными слоями. Название папки должно быть идентичным названию слоя. Каждый файл имеет свое расширение. Нажать расположенную напротив поля «имя файла» кнопку в виде . Создать папку «**district boundaries**» и сохранить в ней слой под именем «**district boundaries**» (англ. «границы

района»). Папка, в которой был сохранен новый слой, содержит 5 взаимосвязанных файлов.

Следующее поле – «Система координат». Она должна быть такой же как у проекта. Для Пермского края используется прямоугольная система координат Universal Transverse Mercator (зона 40), основанная на параметрах эллипсоида WGS 84 [21]. Название этой системы координат в QGIS имеет вид: EPSG: 32640 – WGS 84 / zone 40N. Для ее можно ввести номер – 32640.

Далее обязательно отметить «**Сохранить только выделенные объекты**». Нажать ОК. Пример заполнения формы «Сохранить векторный слой как» показан на рисунке 11.

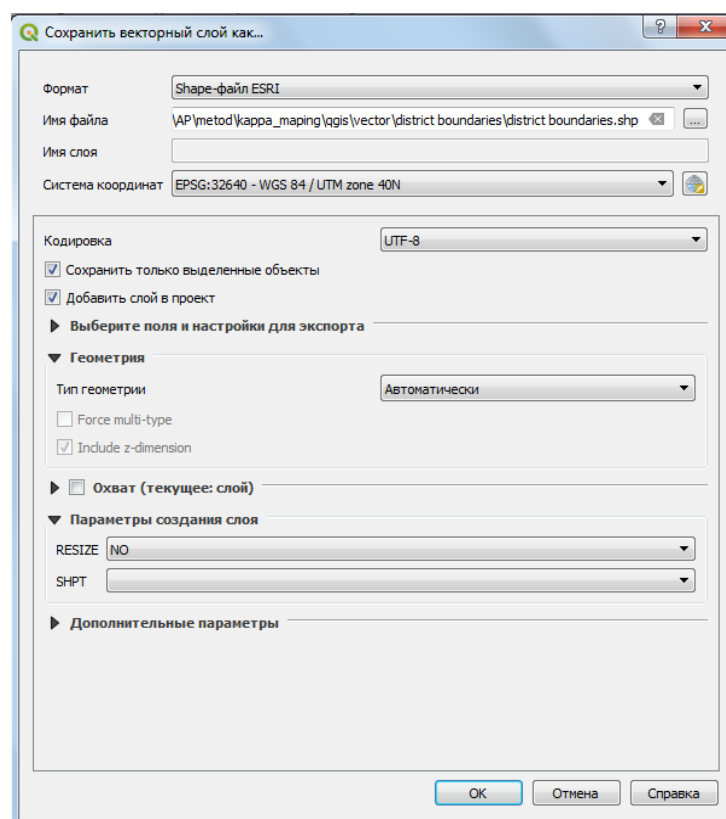


Рис. 11. Параметры сохранения векторного слоя

После создания слоя «Границы района», промежуточные слои «Разность» и «**Single parts**» можно удалить (на панели слоев правой кнопкой мыши выбрать Remove layer, а в других версиях QGIS этот пункт может называться «Удалить» или «Удалить слой»). Слой «**district boundaries**» вынести из группы и расположить поверх всех слоев.

5). Настройка стиля слоя «**district boundaries**». Для отображения пространственной информации в границах выделенного района лучшим способом отображения слоя будет прозрачность (отсутствие) заливки. Настроить стиль слоя следующим образом: Выделить слой на панели слоев



и нажать правую кнопку мыши → «Properties» (или в других версиях «Свойства»); Выбрать вкладку стиль, в рамке справа от вкладок нажать на «Простая заливка» (в других версиях называется Simple fill). В правой части окна выбрать пункт «Стиль заливки». Далее из списка выбрать «Без заливки», Цвет обводки задать красным, толщина обводки 0,6 и более (рис. 12).

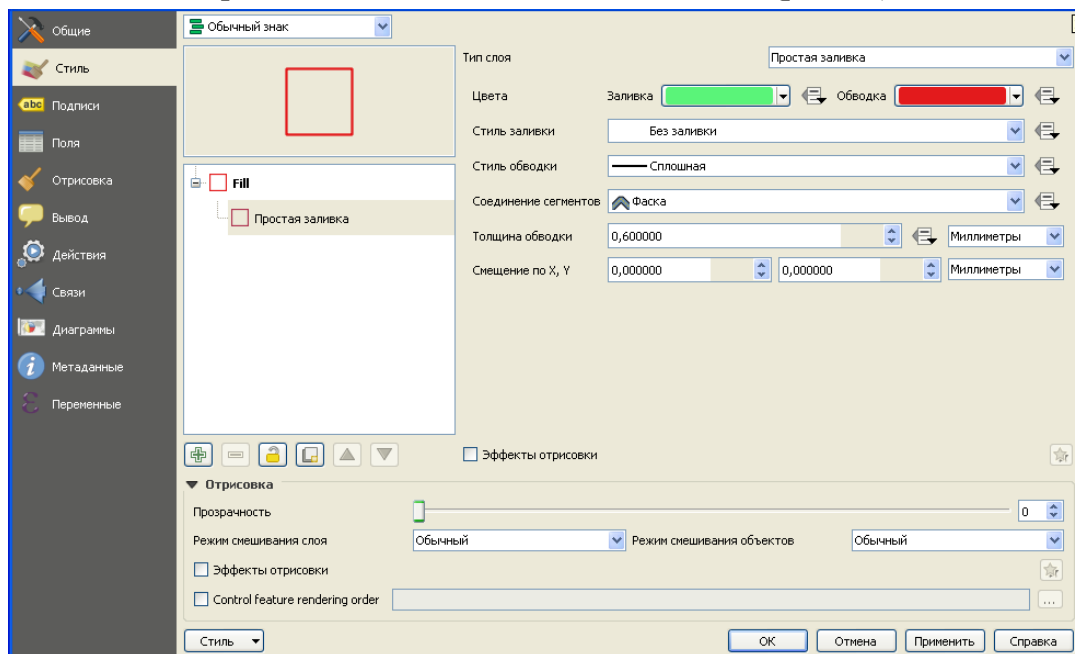


Рис. 12. Настройка свойств отображения векторного слоя


После сделанных настроек, в границах района будет виден растровый слой базовой карты OpenStreetMap (рис. 13).




Рис. 13. Вид настроенного слоя «Границы района»

Таким образом, операции векторной обработки открытых данных позволяют выделить часть области исследований с учетом границ природных рубежей (р. Кама). Однако область проведения исследований

может не совпадать с административным делением векторного слоя RUPPER boundaries, например когда требуется оценить пространственную неоднородность магнитной восприимчивости почв городского сквера, парка или другого небольшого участка. В этом случае границы исследований наносятся как правило в ручную. Рассмотрим данный способ выделения границ магнитометрической съемки почв на примере сквера им. Татищева, который расположен в границах выделенного Ленинского района г. Перми. Границы этой территории хорошо видны на растровой карте «OpenStreetMap». Для создания слоя границ нужно выполнить следующие действия:

1. В строке «Меню» выбрать Слой → создать слой → создать shape-файл. Затем заполнить окно «Новый шейп-файл»: имя файла – нажать на кнопку  выбрать место сохранения в папке vector, создав там папку square (сквер) и сохранить в ней шейп-файл под таким же именем; тип геометрии – полигон; кодировка – UTF 8; система координат EPSG: 32640. В результате на панели слоев появится новый векторный слой «square».

2. Выбрать слой square на панели слоев и активировать режим редактирования на панели инструментов нажав на . Кнопки редактора векторного слоя станут активны. Далее нужно выбрать «Добавить полигон»



3. Обвести по периметру «Сквер имени Татищева» (по подложке слоя «OpenStreetMap»), нажимая на каждом повороте левую кнопку мыши. Завершить созданный полигон нажатием на правую кнопку мыши. В появившемся окне «Атрибуты объектов» нажать ОК. В результате контур границ сквера будет выделен в окне карты, а его вид можно настроить, как показано на рис. 12.

#### ***1.4. Подготовка точек наблюдений***

Для подготовки регулярной сети точек измерения магнитной восприимчивости можно руководствоваться Методическими рекомендациями Минприроды России. Выбор шага опробования будет зависеть от масштаба магнитометрической съемки почв. Границы левобережной территории Ленинского района могут быть представлены в масштабе 1:25000. Это можно проверить, настроив масштаб в строке состояния, как показано на рисунке 14.

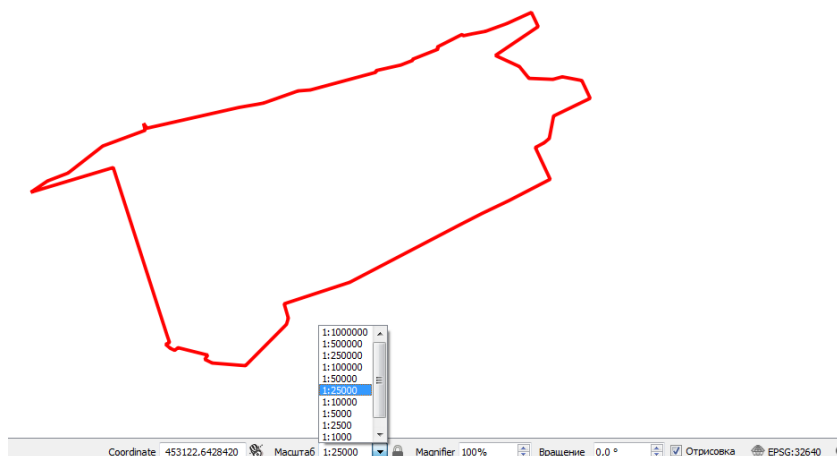


Рис. 14. Работа с масштабом карты

Если карта магнитной восприимчивости почв будет выполнена в соответствии с масштабом 1: 25000, то шаг опробования будет равен 200 м (таблица 1).

Таблица 1

Шаг заложения наблюдательных площадок [17]

Шаг опробования, м	Площадь, на которую приходится одна проба, га	Масштаб съемки
10	0,01	1:1000
20	0,04	1:2000
100	1,0	1:10000
200	4,0	1:25000
500	25,0	1:50000

### Создание сети регулярных точек

Точки с шагом 200 метров создаются следующим образом:

1). Вектор → выборка → создать сетку. Задать границы сетки нажав на и выбрать «Использовать охват слоя/ карты». Выбрать слой как показано на рисунке 15.

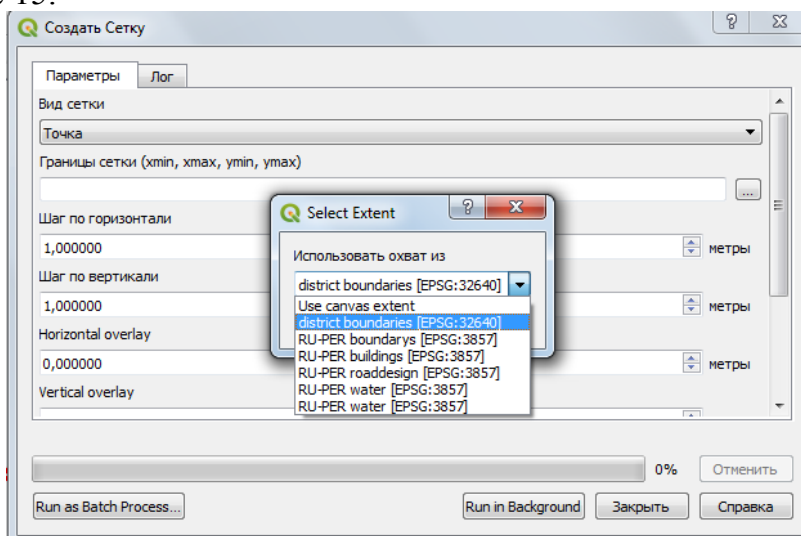


Рис. 15. Выбор охвата сетки точек измерений



Затем заполнить шаг по горизонтали и вертикали. В оба поля ввести 200. Нажать **Run in Background**. Пример заполнения формы «Создать сетку» показан на рисунке 16.

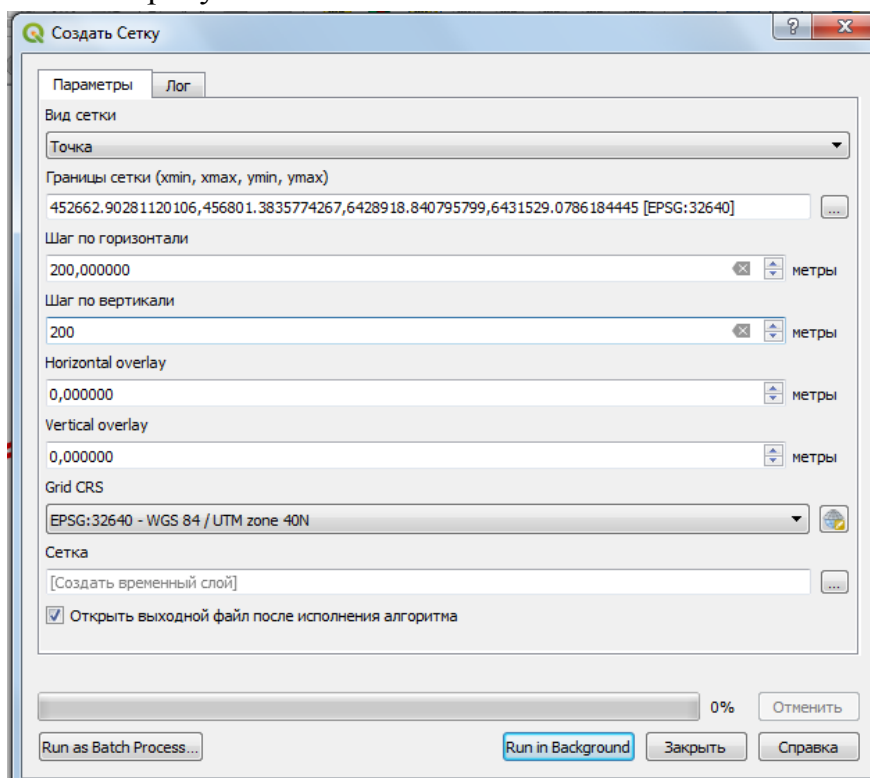


Рис. 16. Параметры создания сетки наблюдений

Созданная сеть регулярных точек будет иметь прямоугольный вид. При этом часть точек выходит за границы района (рис. 17).

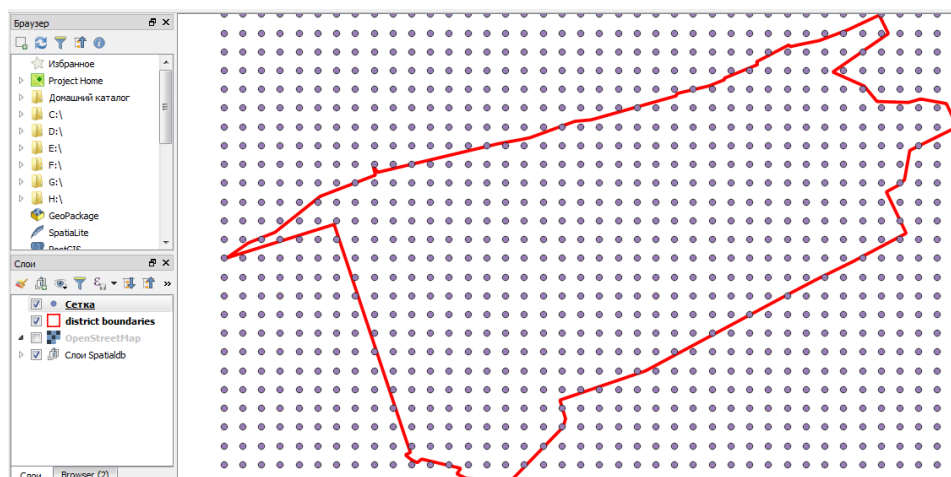


Рис. 17. Вид сетки с шагом 200 метров

2). Сохранение сети точек в заданных границах. Выполнить команду Вектор → геообработка → обрезать. Заполнить форму «Обрезать» как показано на рисунке. Нажать **Run in Background**. Будет создан слой «Результаты обрезки» (рис. 18), а слой сетка можно удалить.

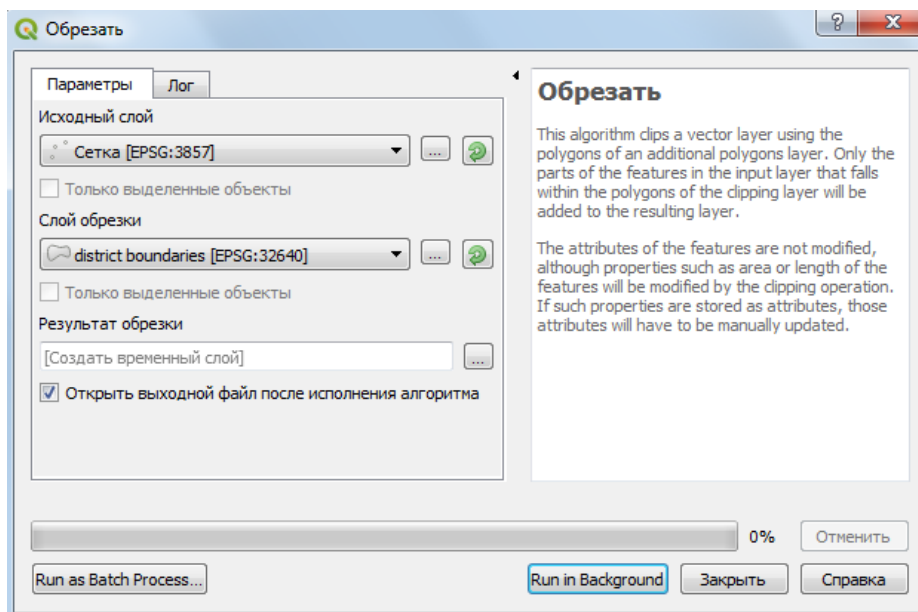


Рис. 18. Заполнение параметров обрезки регулярной сетки

Результат сети регулярных точек в заданных границах показан на рисунке 19.

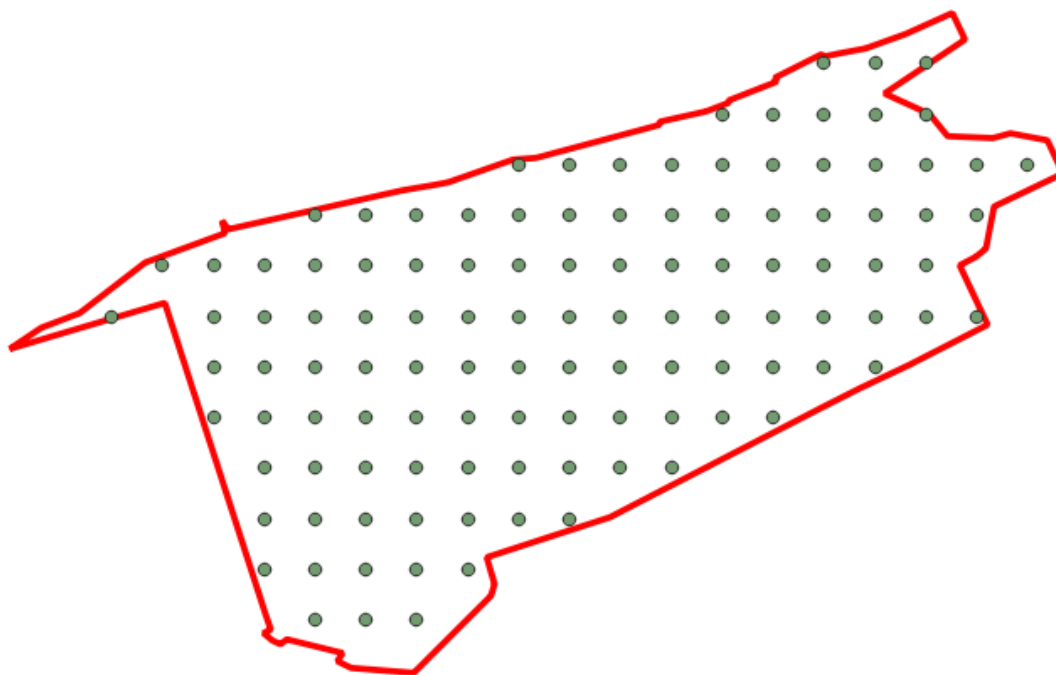


Рис. 19. Окончательный вариант слоя «Точки измерений»



Полученную сетку нужно сохранить в отдельный файл. На панели слоев нажать правой кнопкой мыши по слою «**Результаты обрезки**» и выбрать способ его экспорта, **Save Features As...** Сохранить слой под именем **points**, аналогично тому, как описано сохранение для слоя **district boundaries**. Слой «Результаты обрезки» можно удалить.


Чтобы пронумеровать созданные точки нужно нажать правой кнопкой мыши по слою «**points**» и выбрать из списка «**открыть таблицу атрибутов**».

В атрибутивной форме по числу строк можно определить число точек. Например, для данной территории их число равно 116 (рис. 20).

	left	top	right	bottom	id
101	456062,9028112...	6430929,078618...	456262,9028112...	6431129,078618...	242
102	456062,9028112...	6431129,078618...	456262,9028112...	6431329,078618...	241
103	456062,9028112...	6431329,078618...	456262,9028112...	6431529,078618...	240
104	455862,9028112...	6430129,078618...	456062,9028112...	6430329,078618...	232
105	455862,9028112...	6430329,078618...	456062,9028112...	6430529,078618...	231
106	455862,9028112...	6430529,078618...	456062,9028112...	6430729,078618...	230
107	456262,9028112...	6430329,078618...	456462,9028112...	6430529,078618...	259
108	456262,9028112...	6430529,078618...	456462,9028112...	6430729,078618...	258
109	456262,9028112...	6430729,078618...	456462,9028112...	6430929,078618...	257
110	456262,9028112...	6430929,078618...	456462,9028112...	6431129,078618...	256
111	456262,9028112...	6431129,078618...	456462,9028112...	6431329,078618...	255
112	456262,9028112...	6431329,078618...	456462,9028112...	6431529,078618...	254
113	456062,9028112...	6430129,078618...	456262,9028112...	6430329,078618...	246
114	456062,9028112...	6430329,078618...	456262,9028112...	6430529,078618...	245
115	455862,9028112...	6430729,078618...	455862,9028112...	6430929,078618...	215
116	455862,9028112...	6430929,078618...	455862,9028112...	6431129,078618...	214

Рис. 20. Вид слоя «points» в форме таблицы

Остальные поля содержат информацию о координатах точек и их можно удалить. Для этого на панели инструментов выбрать «режим редактирования»  и нажать на кнопку «удалить поле» . В появившемся окошке выбрать все поля и нажать ОК. После этого можно сформировать атрибутивную форму будущих результатов магнитомерической съемки почв. Для этого нужно выполнить:

- 1). Нажать на кнопку «новое поле»  ввести имя по (будет означать номер) и заполнить остальные поля как показано на рисунке 21.

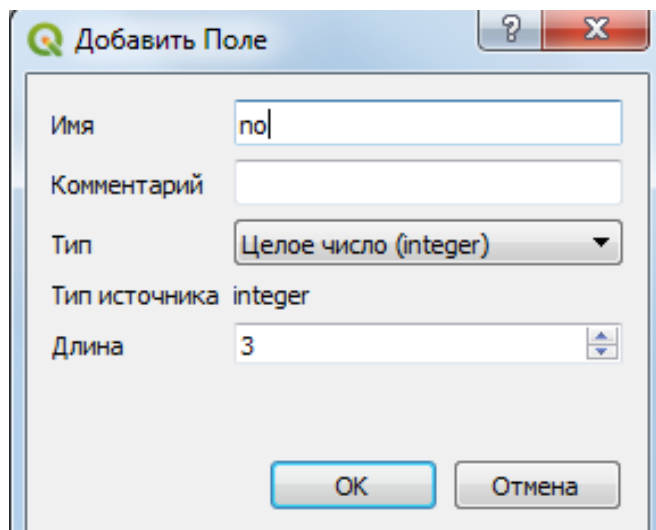


Рис. 21. Параметры создания нового поля слоя points

2). Создать поле для заполнения данных о магнитной восприимчивости под именем ms (magnetic sensebilytu – магнитная восприимчивость) как показано на рисунке 22.

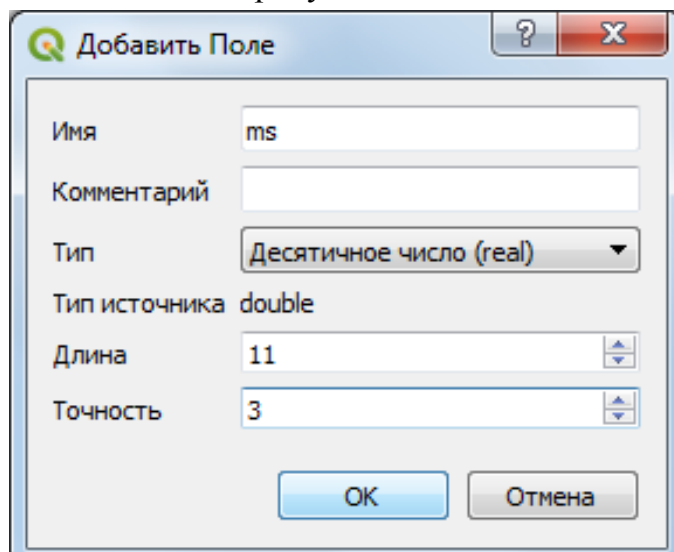



Рис. 22. Параметры создания поля значений OMB

3). Пронумеровать точки по порядку и нажать «сохранить изменения» .

Результатом проделанной работы будет являться картографическая основа для проведения магнитометрической съемки (рис. 23). Обозначенные точки можно подписать через свойства слоя, вкладка пописи.



Рис. 23. Картографическая основа для проведения магнитометрической съемки почвенного покрова на территории левобережной части г. Перми

### *1.5. Экспорт картографической основы в навигационное оборудование*

На сегодняшний день при картографировании урбанизированных территорий самым доступным навигационным прибором является мобильное устройство под управлением системы Android (портативный микрокомпьютер или телефон). В качестве программного обеспечения можно использовать открытую версию мобильного ГИС-приложения NextGIS Mobile [19].

Экспорт подготовленной сети точек на мобильное устройство в NextGIS выполняется в несколько этапов:

1). Перевод данных в географическую систему координат и специальный формат. Данные в любом навигационном оборудовании представляются в географической системе координат. Географическая система координат – это система координат, которая использует сферические (или трехмерные) угловые географические координаты (широту и долготу) базирующиеся на одном из эллипсоидов, например, WGS 1984 [21]. Название этой системы координат в QGIS имеет вид: EPSG: 4326– WGS 84. Ее быстрый поиск можно выполнить, введя номер 4326. При этом в NextGIS используется специальный формат данных **GeoJSON**. На панели слоев выбрать слой **points**, а затем способ его экспорта, **Save Features As...** Экспорт слоя можно выполнить в ту же папку. Заполнить параметры экспорта как показано на рисунке 24.

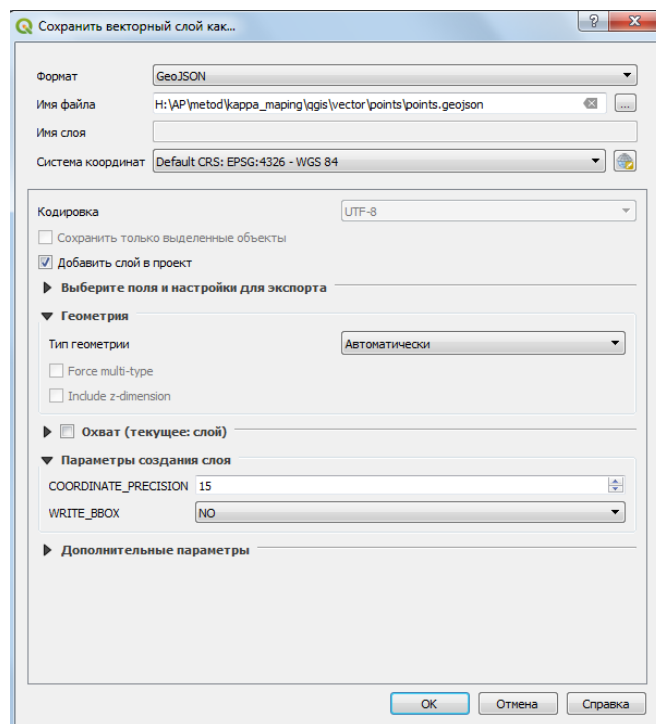



Рис. 24. Параметры экспорта слоя points для NextGIS

2) Загрузка данных. Наиболее удобным способом обмена данными являются почтовые интернет-сервисы или google диск. Поэтому файл сохраненный по адресу **qgis\vector\points\points.geojson** можно отправить на google диск.

3) На мобильном устройстве открыть приложение NextGIS Mobile. Нажать на значок , затем нажать на кнопку + и выбрать «Открыть локальный». В меню «Выберете файл для создания слоя» открыть «Диск», выбрать слой points.geojson. На мобильном устройстве в приложении NextGIS Mobile сетка для измерений будет иметь вид как показано на рисунке 25.

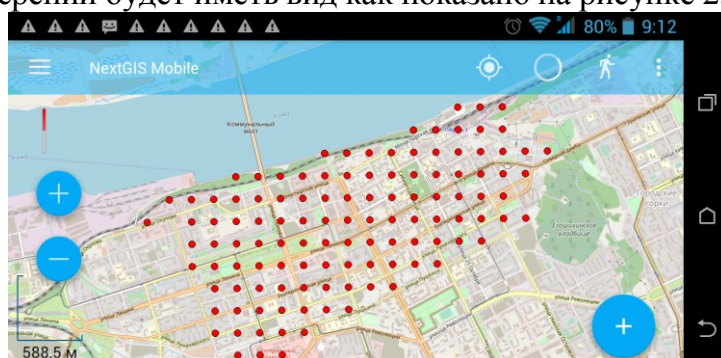


Рис. 25. Точки измерений магнитной восприимчивости в NextGIS Mobile

Таким образом, выход на точки в полевой период магнитометрической съемки выполняется с помощью навигатора мобильного приложения на основе ГИС программы NextGIS Mobile.

Для отображения номеров точек в настройках слоя отметить «Нумерация» (рис. 26)



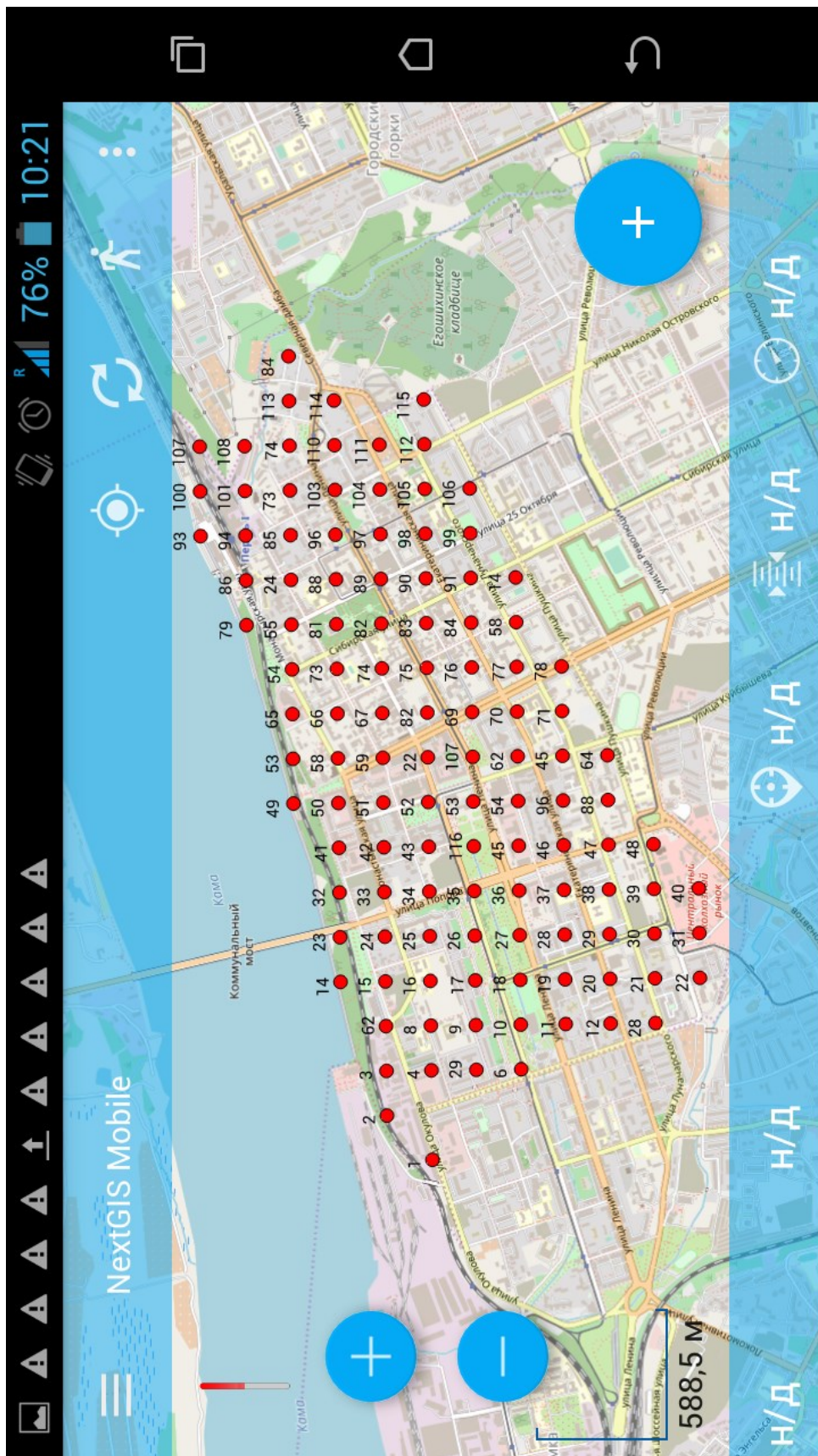


Рис. 26. Нумерация точек измерений магнитной восприимчивости в NextGIS Mobile

## 2. Полевой этап

Во время полевого этапа производятся измерения объемной магнитной восприимчивости по регулярной сетке заданных точек. Выход на точки осуществляется с помощью навигатора.

Магнитная восприимчивость почвы – физическое свойство почвы, которое характеризует способность почвы намагничиваться во внешнем магнитном поле. Зависит от содержания и состава диа-, пара-, анти-, ферромагнетиков [1]. Магнитометрическая съемка почвенного покрова – измерение магнитной восприимчивости почв в полевых условиях с последующей обработкой результатов в камеральных условиях. Итогом проведения съёмки является создание картографических материалов. Разными авторами, в результате проведения магнитометрических исследований, были составлены карты и схемы МВ почвенного покрова ряда городов в России и в мире: Москва, Казань, Чусовой, Владимир, Таллин, Леобен, Тюбинген, Лояна и др. (приложение 1).

В набор полевого снаряжения для осуществления магнитометрической съемки почвенного покрова входит:

1. Прибор для измерения объемной магнитной восприимчивости почв Каппаметр КТ-6 (производство Чехия);
2. Навигационное оборудование – мобильное устройство под управлением ОС Android с установленной мобильной ГИС NextGIS Mobile и загруженными в это приложение точками;
3. Полевой журнал записи измерений объемной магнитной восприимчивости, ручка, карандаш.

Для измерения ОМВ используется каппаметр КТ-6 с диапазоном измерений от  $10^{-5}$  до 100 ед. СИ.

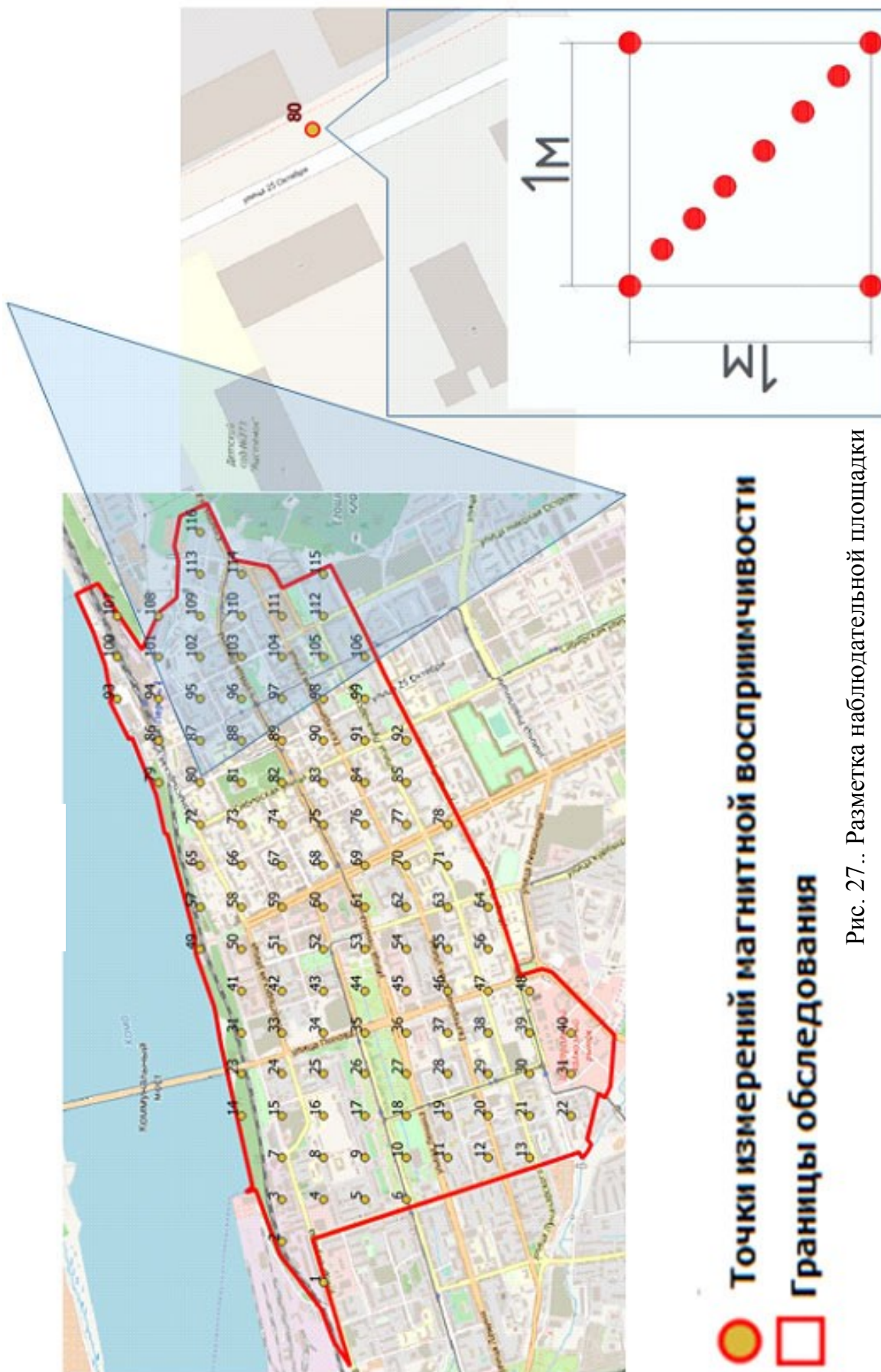
Измеритель ОМВ КТ-6 предназначен для быстрого измерения ОМВ в полевых условиях. Основной частью прибора является LC-осциллятор с частотой 10 кГц, диэлектрическая проницаемость которого определяется плоской измерительной катушкой, размещенной на рабочей поверхности прибора.

Измерение ОМВ осуществляется в два этапа. Частота осциллятора измеряется при помощи катушки на некотором расстоянии от почвы (измерение в свободном пространстве), и затем измерение повторяется, когда катушка подносится вплотную к поверхности почвы.

По разности частот встроенный микрокомпьютер рассчитывает величину истинной восприимчивости, эта величина затем и отображается на дисплее [7]. Измерения объемной магнитной восприимчивости проводятся в местах заранее обозначенных точек. На наблюдательных площадках размером  $1\text{ м}^2$ , точечные измерения проводятся в 10-кратной повторности.

Таким образом, если измерить ОМВ на всех площадках, намеченных на территории Ленинского района г. Перми, то получится выборка из 1160 единичных наблюдений [6]. Схема проведения измерений ОМВ на наблюдательной площадке показана на рисунке 27.





- Точки измерений магнитной восприимчивости
- Границы обследования

Рис. 27.. Разметка наблюдательной площадки

Результаты измерения ОМВ записываются в полевой журнал (таблица 2). Полученные средние значения можно сразу записывать в слой points по которому выполняется навигация в приложении NextGIS Mobile.

Таблица 2

Полевой журнал записи результатов измерений магнитной восприимчивости

№ точки	Повторности измерений на наблюдательной площадке										Средняя ОМВ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1,9	2,1	1,9	2,1	1,9	2,1	1,9	2,1	1,9	2,1	2,0
...											

В результате измерения магнитной восприимчивости почв в пределах левобережной части Ленинского района г. Перми были получены средние значения ОМВ на каждой намеченной наблюдательной площадке (таблица 3).

Таблица 3

Средние значения ОМВ почв (10-3 СИ) в точках на территории Ленинского района г. Перми [5]

№ точки	ОМВ	№ точки	ОМВ	№ точки	ОМВ	№ точки	ОМВ
1	2.0	30	4.6	59	3.4	88	3.4
2	4.2	31	3.9	60	3.2	89	7.1
3	6.1	32	0.9	61	2.6	90	7.2
4	3.3	33	3.3	62	3.0	91	5.1
5	2.6	34	3.2	63	5.2	92	6.0
6	3.4	35	2.9	64	3.1	93	1.2
7	2.0	36	8.0	65	2.3	94	1.9
8	2.4	37	8.9	66	3.7	95	1.7
9	1.5	38	3.2	67	4.2	96	2.3
10	5.1	39	4.7	68	3.1	97	2.2
11	2.8	40	5.0	69	2.2	98	7.5
12	2.5	41	1.6	70	3.9	99	4.8
13	1.3	42	1.3	71	2.6	100	2.9
14	0.6	43	1.2	72	4.2	101	2.9
15	4.3	44	1.8	73	3.9	102	3.9
16	3.1	45	5.5	74	1.7	103	4.6
17	1.2	46	3.9	75	2.7	104	1.7
18	1.6	47	5.4	76	5.3	105	6.6
19	2.8	48	2.3	77	6.6	106	2.7
20	1.2	49	1.1	78	5.8	107	2.7
21	6.7	50	1.9	79	3.0	108	2.7
22	5.0	51	2.2	80	2.7	109	1.6
23	1.5	52	0.9	81	3.6	110	2.8
24	4.5	53	1.2	82	2.7	111	5.7
25	3.4	54	2.6	83	2.1	112	4.8
26	5.7	55	1.9	84	2.7	113	1.2
27	3.2	56	5.3	85	5.5	114	6.3
28	2.6	57	2.2	86	2.9	115	6.0
29	6.0	58	2.3	87	1.0	116	1.4

На основе данных полевых измерений ОМВ выполняются работы камерального завершающего периода. Для оперативности обработки полученных значений, их необходимо записать в электронную таблицу excel.

### 3. Завершающий камеральный этап

Завершающий камеральный этап магнитометрической съемки почв включает три вида работ:

1. Математическая обработка результатов измерений в программе Statistica с целью создания картографической шкалы объемной магнитной восприимчивости;
2. Создание и оформление картосхемы магнитной восприимчивости;
3. Геостатистический анализ непрерывной поверхности распределения магнитной восприимчивости почв. Определяются площади ареалов разномагнитных почв, проводятся работы по оценке магнитности почвенного покрова на территории отдельных социально-значимых объектов.

#### 3.1. Математическая обработка

По результатам полевой магнитометрической съемки установлено, что значения магнитной восприимчивости в почвах левобережной части г. Перми варьируют от  $0,6 \times 10^{-3}$  СИ (Почвы сквера на набережной р. Камы) до 8,9 (Екатерининская 142 – Детский сад №36). Для построения шкалы магнитной восприимчивости почв, общий массив данных, полученный в результате полевых измерений, подлежит обработке в программе Statistica 6.0. Шкала необходима, как инструмент для создания картосхемы ОМВ.

1). Создание нового документа. Выполнить команду Файл → Новый. Заполнить число переменных (столбцов) и число регистров (строк) во вкладке «Крупноформатная таблица» окна Create New Document. Столбцами являются: номер точки и значение объемной магнитной восприимчивости, а регистрами общее число точек наблюдений, которое в данном примере равно 116 (рис. 28).

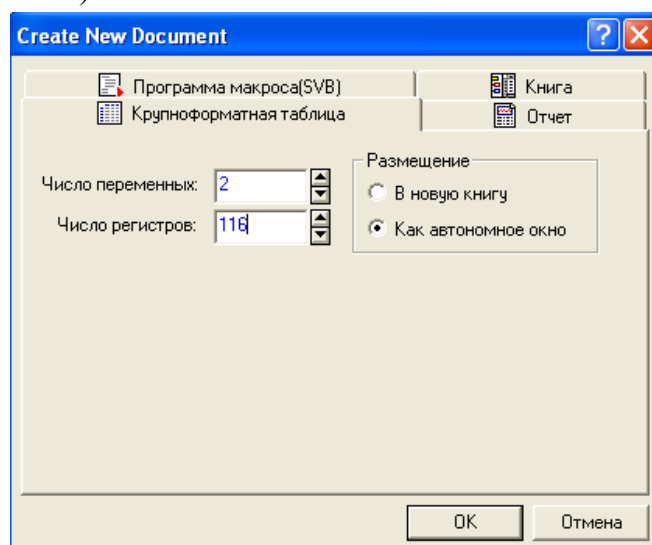


Рис. 28. Создание таблицы в программе Statistica 6.0.

2). Заполнить столбцы var1 (номер точки) и var2 (значение восприимчивости);

3). Разработка градаций магнитной восприимчивости почв. На карто-схеме магнитной восприимчивости почв выделяется 7 градаций. Поскольку значения могут иметь разный разброс и величину существует подход вычислений границ центильных интервалов: от 0 до 5%, от 5 до 10%; от 10 до 25%; от 25 до 75%; от 75 до 90%; от 90 до 95%. Таким образом, шкала центильных интервалов имеет вид:

1. Очень низкая < 5%;
2. Низкая 5-10%;
3. Ниже средней 10-25%;
4. Средняя «норма» 25-75%
5. Выше средней 75-90%
6. Высокая 90-95%
7. Очень высокая >95%

Для получения значений этой шкалы в программе Statistica 6.0 выполнить команду Статистика → Основная статистика/Таблицы, затем выбрать Descriptive statistics. Заполнить во вкладке Advanced поля Percentile boundaries: First и Second. Например, интервал «низкая» First = 5, Second = 10. Нажать Summary, выбрать var2 (второй столбец – значения магнитной восприимчивости), нажать ОК (рис. 29).

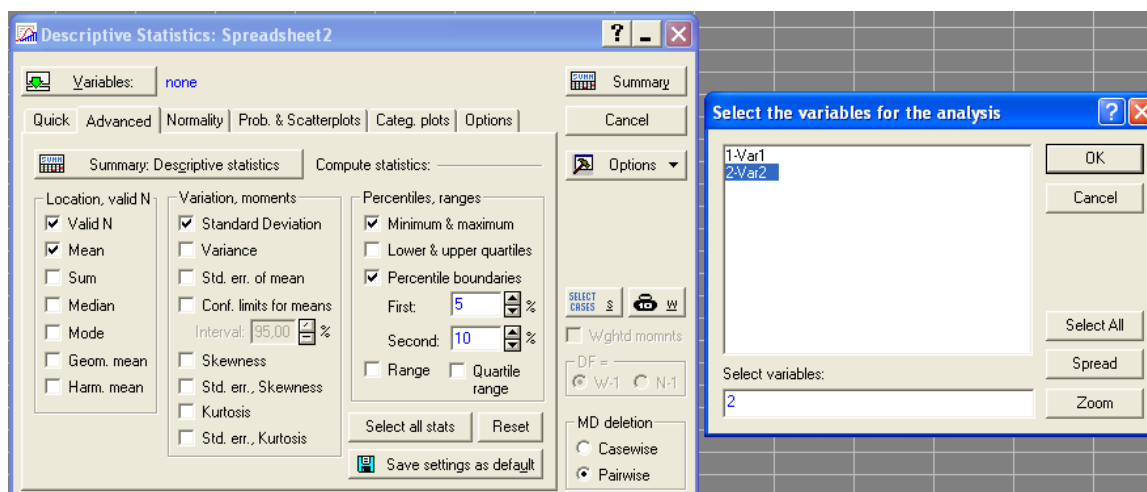



Рис. 29. Параметры расчета центильных интервалов

В результате будет создана таблица Descriptive Statistics (Spreadsheet2) (рис. 30).

Descriptive Statistics (Spreadsheet4)							
Variable	Valid N	Mean	Minimum	Maximum	Percentile 5,000000	Percentile 10,00000	Std.Dev.
Var2	116	3,410345	0,600000	8,900000	1,200000	1,300000	1,778342

Рис. 30. Таблица Descriptive Statistics

Значения в колонках 5 (Percentile 5) и 6 (Percentile 10) являются интервалами второй группы. Затем в нижнем левом углу нажать на кнопку  **Descriptive Statistics...** и выполнить еще 4 раза данную операцию. В результате внизу рабочего окна будет создано 5 вкладок Descriptive Statistics (Spreadsheet2). Данные из колонок 5 (Percentile) и 6 (Percentile) записать в таблицу центильных интервалов (табл. 4). Интервалы «Очень низкая» и «Очень высокая» будут соответственно меньше и больше Percentile 5 и Percentile 95.

Результаты вычислений показателей описательной статистики позволили определить границы центильных интервалов (табл. 4).

Таблица 4

Центильные интервалы объемной магнитной восприимчивости в слое 0-10 см почв левобережной части Ленинского района г. Перми

Градации центильных интервалов, n=116						
Очень низкая < 5%	Низкая 5-10%	Ниже средней 10-25%	Средняя «норма» 25-75%	Выше средней 75-90%	Высокая 90-95%	Очень высокая >95%
< 1,20	1,20-1,30	1,30-2,15	2,15-4,65	4,65-6,00	6,00-6,70	> 6,70

Границы интервала «Средняя» описывают генеральную совокупность измерений восприимчивости почв и включают среднеарифметические и медианные значения в интервале от 2,15 до 4,65. Центильным анализом установлено среднее значение магнитной восприимчивости почвенного покрова левобережной части Ленинского района –  $3,14 \times 10^{-3}$  СИ (вторая колонка «Mean»).

Таблица 5

Группировка почв левобережной части Ленинского района г. Перми по величине объемной магнитной восприимчивости


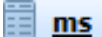
Номер группы	Рекомендуемый цвет раскраски (Васильев, Лобанова, 2015)	Объемная магнитная восприимчивость почв	$10^{-3}$ СИ
1	Зеленый	Очень низкая	< 1,20
2	Темно-зеленый	Низкая	1,20-1,30
3	Желтый	Ниже средней	1,30-2,15
4	Оранжевый	Средняя «норма»	2,15-4,65
5	Розовый	Выше средней	4,65-6,00
6	Красный	Высокая	6,00-6,70
7	Черный	Очень высокая	> 6,70


Полученные градации центильных интервалов будут являться основой для создания шкалы магнитной восприимчивости в геоинформационной системе QGIS. Шкала магнитной восприимчивости представлена в таблице 5.

### 3.2. Подготовка набора слоев для картограммы

Результаты измерений объемной магнитной восприимчивости почв хранятся в виде электронной таблицы excel. В самой таблице должно быть всего две колонки, которые могут быть без названия. Для работы с этими данными в QGIS необходимо выполнить следующие действия:

1). Открыть таблицу значений OMB в excel и заменить формат заполненных ячеек на **текстовый**. Выполнить команду: Файл → Сохранить как → Выбрать тип файла CSV (MS-DOS) (\*.csv). Далее в папке points сохранить под именем ms.

2). Открытие ms.csv в QGIS. С помощью кнопки  «Добавить векторный слой» выбрать и открыть файл ms.csv. Данная таблица будет отображена на панели слоев в виде нового слоя: 

3). Добавление данных в слой points. На панели слоев выбрать слой points и вызвать его свойства – двойное нажатие по слою левой клавиши мыши. Выбрать вкладку «Связи». Нажать  «Добавить новую связь» и заполнить диалог Add Vector Join как показано на рисунке 31 и нажать ОК.

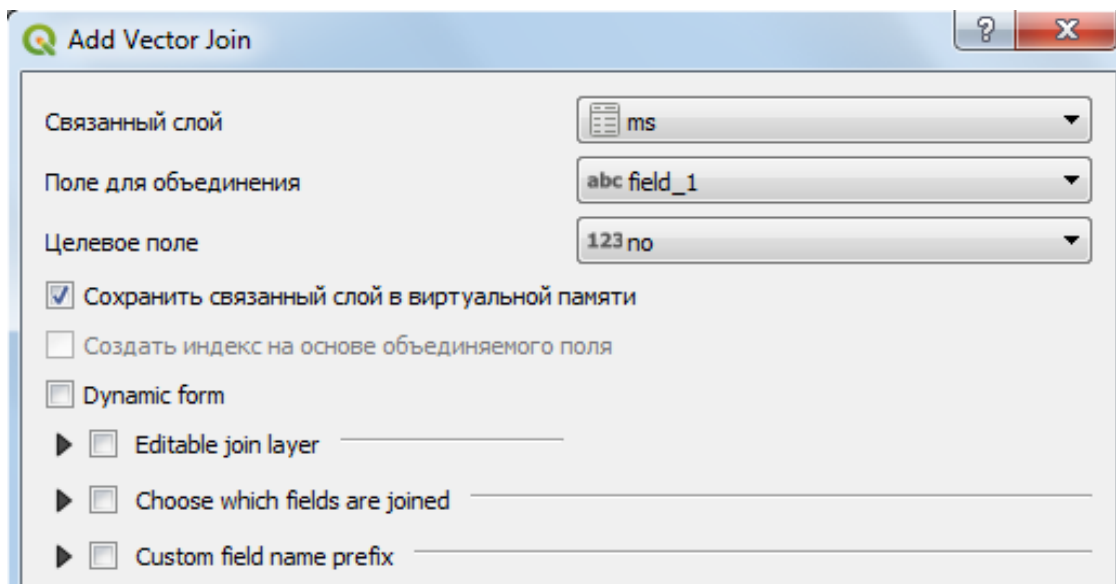
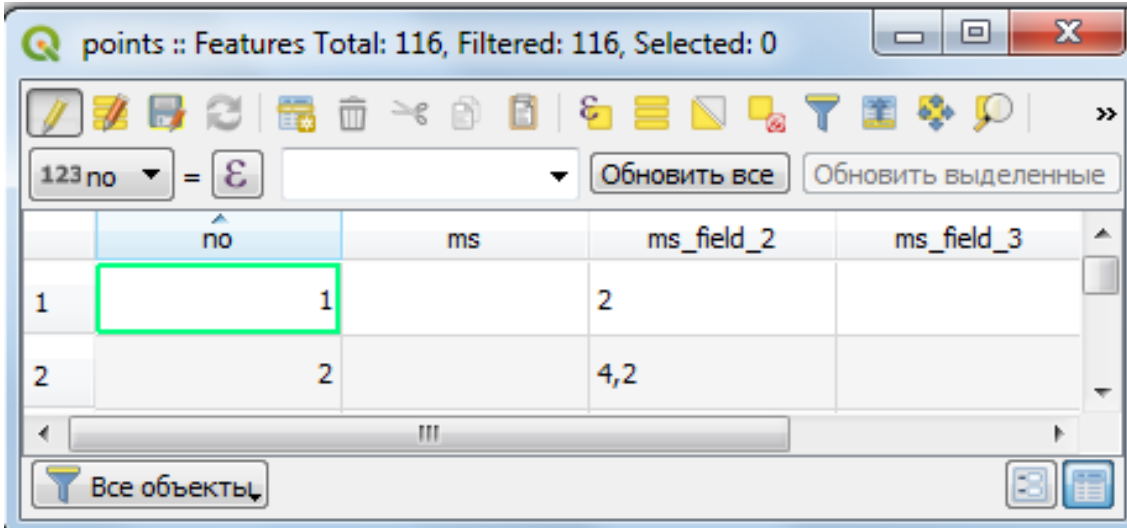


Рис. 31. Настройка связи таблицы и векторного слоя points

4). Сохранение данных. На панели слоев выбрать слой points и нажать по нему правой клавишей мыши. Выбрать «Открыть таблицу




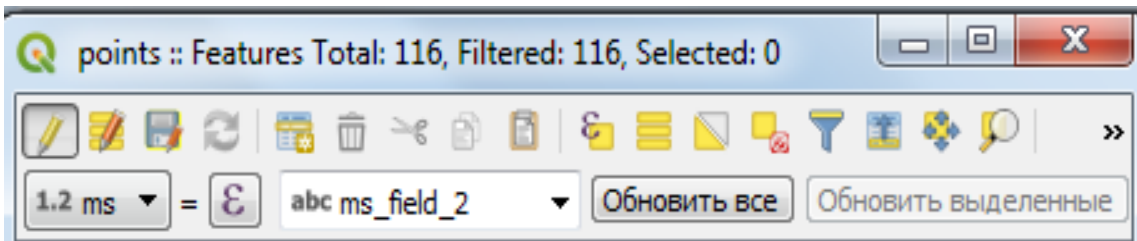
атрибутов». В табличной форме слоя будут отображаться 4 колонки 2 из которых относятся к привязанному слою таблицы ms. Они будут исчезать при удалении слоя ms (рис. 32).



	no	ms	ms_field_2	ms_field_3
1	1		2	
2	2		4,2	


Рис. 32. Новые атрибуты слоя points

Для правильного сохранения результатов измерений магнитной восприимчивости почв в слое points нужно перезаписать данные из поля ms\_field\_2 в поле ms. Для этого нажать на кнопку  «Режим редактирования» и под панелью инструментов атрибутивной формы составить равенство  $ms = ms\_field\_2$ . Нажать «Обновить все» (рис. 33).



	no	ms	ms_field_2	ms_field_3
1	1	1.2 ms	abc ms_field_2	
2	2	1.2 ms	abc ms_field_2	

Рис. 33. Запись значений магнитной восприимчивости в слой points

Данные будут записаны в колонку ms и слой можно сохранить нажатием на  «Сохранить изменения». Таблицу атрибутов закрыть, а табличный слой ms удалить.

	no	ms
1	1	2,000
2	2	4,200
3	3	6,100
4	4	3,300
5	5	2,600
6	6	3,400
7	7	2,000
8	8	2,400

Рис. 34. Результаты работы по переносу значений из таблицы excel в проект QGIS

Таким образом, таблица атрибутов слоя points будет иметь вид как на рисунке 34.

### ***3.3. Пространственная интерполяция магнитной восприимчивости почв***

Согласно определению «Пространственная интерполяция» - это использование известных значений той или иной величины в определенных точках для оценки неизвестных значений в неизвестных точках [16].

Применение пространственной интерполяции при составлении карт химического загрязнения почв описано в приложении 6 Письма Минприроды РФ от 9 марта 1995 г. N 25/8-34 о методических рекомендациях по выявлению деградированных и загрязненных земель [12], «Методы интерполяции при составлении карт химического загрязнения почв»:

«а) Метод сглаживания усредняет значения концентрации в нескольких соседних экспериментальных точках вокруг заданной, затем этим средним заменяется экспериментальное значение в этой точке. В результате разброс между соседними точками уменьшается, и увеличивается количество точек с близкими значениями концентрации. Это позволяет проводить изолинии по исходным точкам со сглаженными оценками. Не различающиеся точки определяют с учетом аналитической ошибки измерения. Степень сглаживания (число усредняемых соседних точек) можно регулировать



применительно к конкретной задаче. По сути, этот метод не проводит собственно интерполяцию, но способствует ей.

б) Метод аппроксимации состоит в том, что экспериментальные данные по всей территории (или отдельным районам) описывают функцией  $Z = f(X, Y)$  (где  $X, Y$  - пространственные координаты,  $Z$  - концентрация), а затем расчетным путем находят точки с заданной концентрацией и соединяют их изолинией. В этом методе, как и в предыдущем, происходит сглаживание опытных данных. Основная трудность метода состоит в правильном подборе аппроксимирующей функции.

в) Метод линейной интерполяции состоит в том, что все опытные точки соединяются между собой прямыми, и на этих прямых пропорциональным делением находят точки с заданной концентрацией. Далее эти точки соединяют между собой в изолинию. Этот метод относится к группе методов локальной интерполяции. К сожалению, он не учитывает всегда существующую ошибку измерения.


г) К методам локальной интерполяции относится и наиболее современный метод Кригинга [11]. Он отличается тем, что рассчитывает значение концентрации в промежуточных точках с наименьшей возможной ошибкой. Для этого проводится оптимизация весов заданного числа ближайших экспериментальных точек. Метод кригинга лучше всего работает при отсутствии четко выраженных пространственных трендов концентрации и при определенной густоте сетки опробования, определяемой на предварительном этапе исследования по трансектам. Если при фактическом шаге опробования концентрации в соседних точках не коррелируют между собой, то этот метод также не имеет особых преимуществ перед другими» [13].

#### **Интерполяция магнитной восприимчивости методом Кригинга**

В ряде научных публикаций указано, наиболее распространенным на практике типом интерполяции, применяемым для создания непрерывных поверхностей свойств почв является Кригинг [15].

Кригинг — это улучшенный геостатистический метод, который позволяет строить предполагаемую поверхность из набора точек с  $z$ -значениями. В отличие от других методов интерполяции в наборе инструментов Интерполяция (Interpolation), инструмент Кригинг (Kriging) предполагает интерактивное исследование пространственного поведения явления, представленного  $z$ -значениями, до выбора оптимального метода оценки для построения результирующей поверхности [11].

1). Преобразование геометрии слоя точек. В результате обрезки регулярной сети точек по границам района исследований (описанного в п. 1.3), тип геометрии слоя был изменен из точки (Point) в мультиточку (MultiPoint). Информацию о геометрии слоя можно просматривать в его свойствах, вкладка «Информация». Выполнение интерполяции методом Кригинга возможно только с точками (тип геометрии Point). Для этого слой points преобразуется в точечный тип геометрии. На панели атрибутов

нажать на кнопку  «Панель инструментов» и в строке поиска «Искать по алгоритмам» набрать «Преобразовать тип геометрии» (рис. 35). Выбрать данный инструмент.

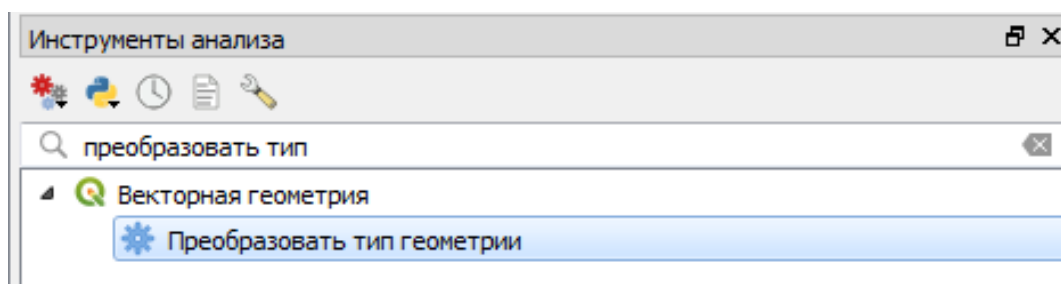


Рис. 35. Инструмент преобразования геометрии

Заполнить условия выполнения этого алгоритма как показано на рисунке 36 и нажать **Run in Background**.

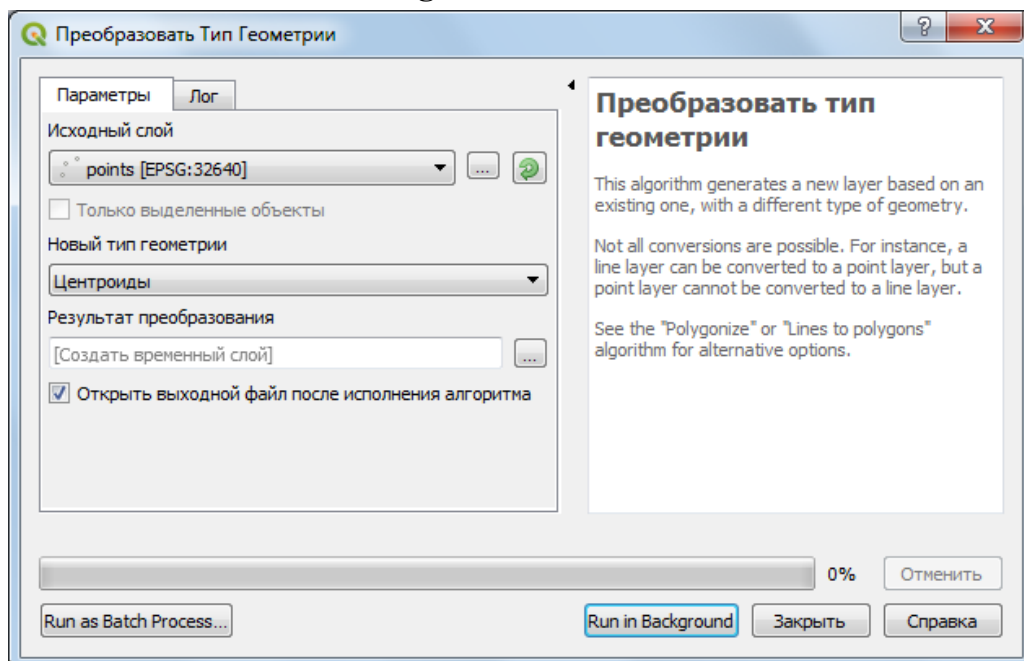


Рис. 36. Условия преобразования геометрии слоя points

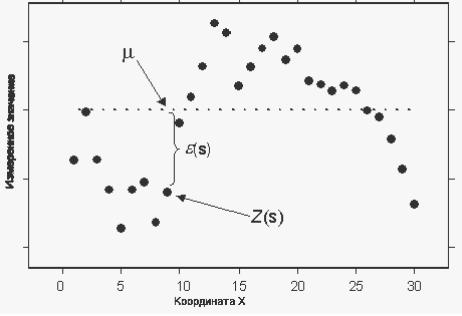
В результате на панель слоев будет добавлен новый слой «Результат преобразования». С ним выполняются все дальнейшие действия по интерполяции магнитной восприимчивости почв методом Кригинга, а после выполнения алгоритмов его можно удалить.

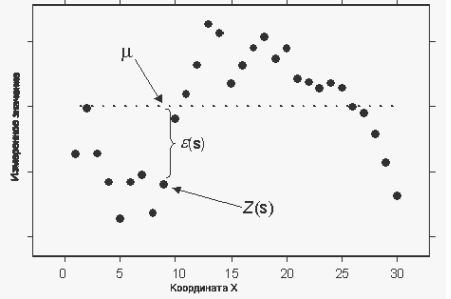
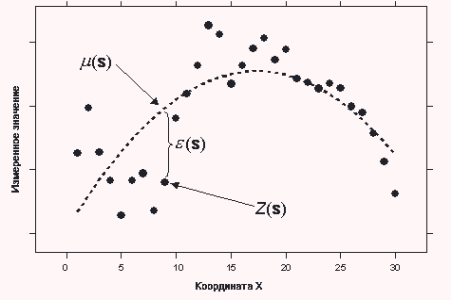
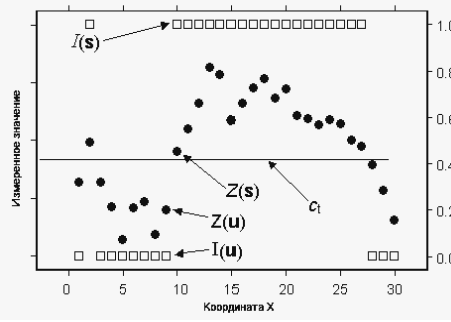
2). Выбор метода интерполяции. В строке поиска «Искать по алгоритмам» набрать «kriging». В результате будет предложено 4 способа Кригинга из раздела SAGA Raster creation tools: ordinary kriging, simple kriging, universal kriging и regression kriging. Их описание дано в таблице 6. Наиболее часто при моделировании пространственного распределения свойств почв применяется Simple kriging - Простой Кригинг [15].

3). Настройка параметров интерполяции. Метод simple kriging содержит множество параметров. Из них обязательно необходимо настроить следующие: выбрать слой «Результат преобразования», атрибут «ms». Желательно при данном масштабе уменьшить размер ячейки («Cell size») до 10. Из дополнительных настроек для более полного охвата всей выборки можно настроить Lag distance classes, Skip, Minimum. Пример заполнения настроек simple kriging показан на рисунке 37. После заполнения настроек нажать «Выполнить» и закрыть окно Simple kriging.

Таблица 6

Краткое описание моделей Кригинга [14]

Название и расшифровка	Краткое описание	Пример в одном пространственном измерении
ordinary kriging (ординарный кригинг)	<p>Ординарный кригинг предполагает модель, <math>Z(s) = \mu + \varepsilon(s)</math>, где <math>\mu</math> является неизвестной константой. Один из основных вопросов, касающихся ординарного кригинга, обоснованно ли допущение постоянного среднего значения. В отдельных случаях есть веские научные обоснования для отклонения этого допущения. Однако в качестве простого метода интерполяции он обладает выдающейся гибкостью.</p>	

<p>simple kriging (простой кригинг)</p>	<p>Простой кригинг предполагает следующую модель: <math>Z(s) = \mu + \varepsilon(s)</math>, где <math>\mu</math> является известной константой. Простой кригинг может использовать вариограммы либо ковариации (математические формы, используемые для выражения автокорреляции), применять преобразования и учитывать погрешность измерения.</p>	 <p>The graph shows a scatter plot of data points Z(s) against coordinate X. A horizontal dashed line represents the constant mean value mu. A vertical bracket indicates the error term epsilon(s) as the vertical distance between a data point and the mean line.</p>
<p>universal kriging (универсальный кригинг)</p>	<p>Универсальный кригинг предполагает получение среднего значения тренда. Точки данных должны быть отобраны из непрерывного в пространстве явления. К важным параметрам относятся поверхность тренда, преобразования, модели ковариации/вариограммы и окрестность поиска. Универсальный кригинг предполагает модель, <math>Z(s) = \mu(s) + \varepsilon(s)</math>, где <math>\mu(s)</math> — это некоторая детерминированная функция.</p>	 <p>The graph shows a scatter plot of data points Z(s) against coordinate X. A dashed curve represents the trend function mu(s). A vertical bracket indicates the error term epsilon(s) as the vertical distance between a data point and the trend curve.</p>
<p>regression kriging (вероятностный кригинг)</p>	<p>Вероятностный кригинг предполагает модель, <math>I(s) = I(Z(s) &gt; ct) = \mu_1 + \varepsilon_1(s)</math> <math>Z(s) = \mu_2 + \varepsilon_2(s)</math>, в которой <math>\mu_1</math> и <math>\mu_2</math> — неизвестные константы, а <math>I(s)</math> — двоичная переменная, создаваемая при помощи индикатора порогового значения, <math>I(Z(s) &gt; ct)</math>.</p>	 <p>The graph shows a scatter plot of data points Z(s) against coordinate X. A horizontal line represents the threshold ct. Above the threshold, a row of open squares represents the binary indicator I(s). Below the threshold, a row of open squares represents the binary indicator I(u). The data points Z(s) are shown as solid circles.</p>

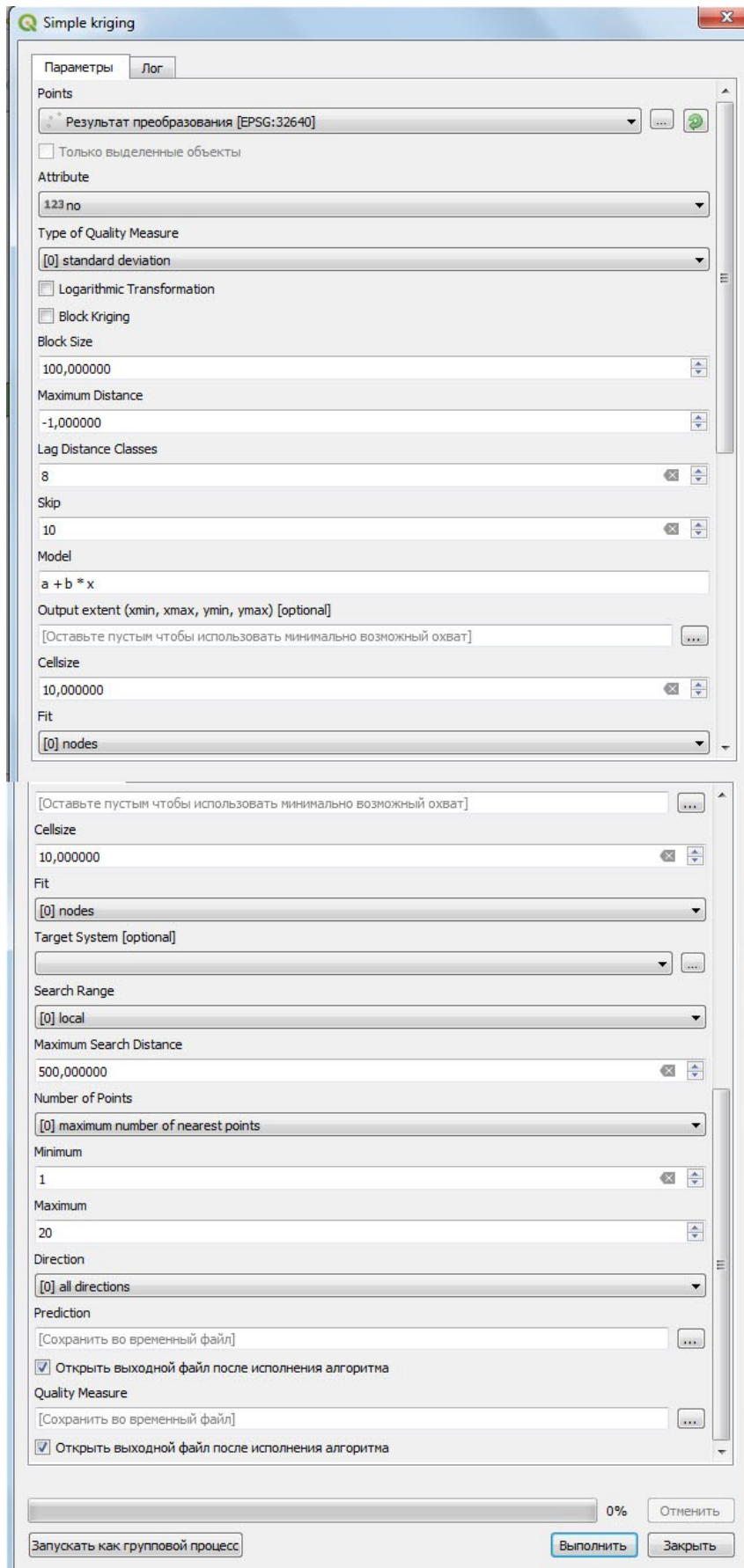


Рис. 37. Настройка параметров Simple kriging

В результате выполнения алгоритма на панели слоев добавляются два слоя: Quality Measure и Prediction. Результат интерполяции отображается слоем Prediction, а Quality Measure показывает стандартную ошибку интерполяции – вероятную погрешность интерполяции в каждой точке пространства. Это весьма ценная характеристика, и возможность оценить ее представляет главное преимущество методов кригинга перед всеми другими методами интерполяции. Обычно величина стандартной ошибки определяется плотностью сети наблюдений (там, где плотность точек меньше, стандартная ошибка больше, и наоборот).

Непрерывная поверхность объемной магнитной восприимчивости почв будет иметь вид, представленный на рисунке 38.

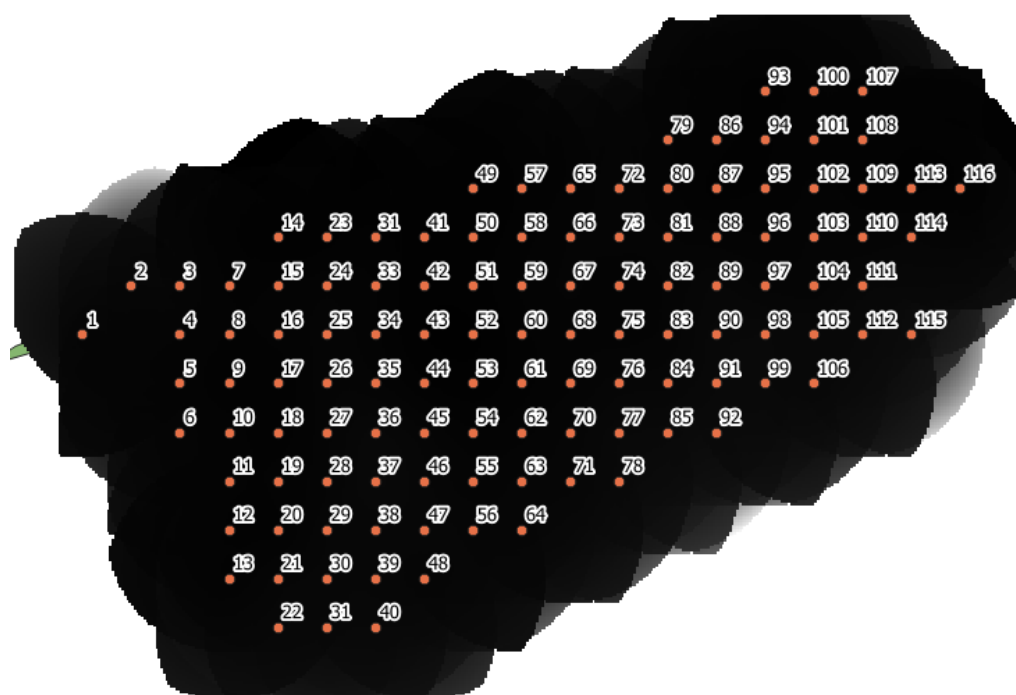


Рис. 38. Результат интерполяции Simple Kriging

4). Создание маски слоя интерполированной поверхности магнитной восприимчивости почв.

Выполнить команду Растр → Извлечение → Обрезать растр по маске. В окне «Обрезка» выбрать исходный файл (**Prediction**), слой маски (**district boundaries**). Заполнить целевой файл – название файла, в котором сохраняются результаты обрезки. Например ms\_Simple Kriging и сохранить в папку с проектом. Нажать Run in Background.

В результате на панели слоев появится новый слой. Временный слой **Prediction** можно удалить, а его маска является основой для создания картосхемы объемной магнитной восприимчивости. Пример созданной маски показан на рисунке 39.

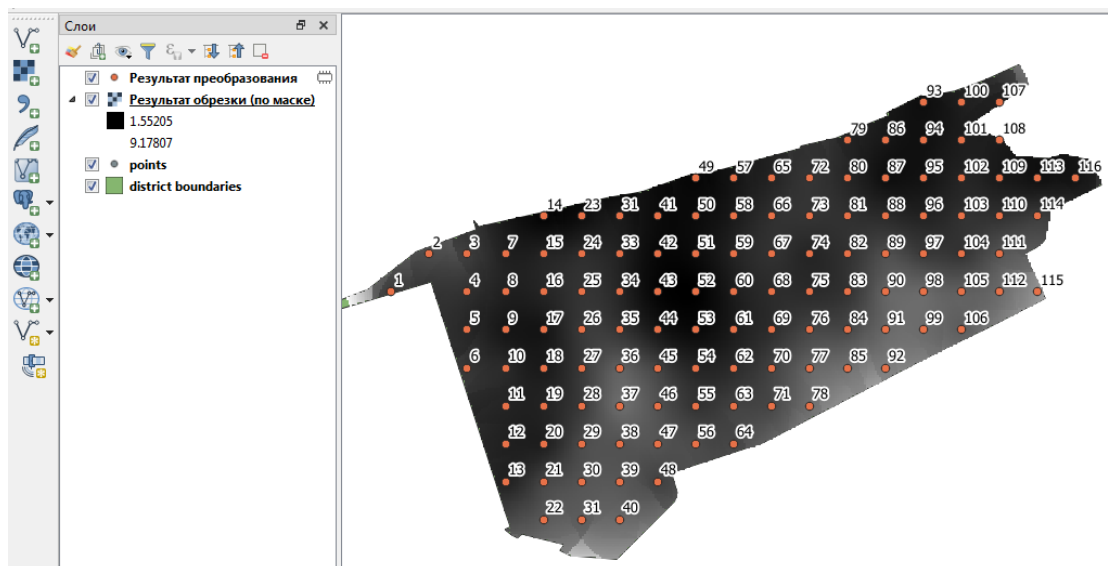


Рис. 39. Отображение интерполяции по маске района

На рисунке под слоем `ms_Simple Kriging` приведен диапазон значений магнитной восприимчивости почв. С помощью инструмента «Определить объекты» можно получить значение ОМВ в любой точке на растре.

5). Настройка стиля интерполированной поверхности. Для создания цветового оформления картосхемы магнитной восприимчивости почв нужно настроить стиль полученного слоя `Prediction`. (выбрать вкладку «Стиль» свойств слоя). Сначала настроить поле «Изображение» - выбрать «**Одноканальное псевдоцветное**». Затем под рамкой с градациями и цветами задать Моду «**Равные интервалы**» и ввести число соответствующих классов, которые приведены в таблице. Классы будут добавлены в виде строк внутри рамки.

Настройка шкалы: колонка «Значение» является верхним диапазоном каждой из групп.

Например, группа 2 с диапазоном от 1,2 до 1,3 будет иметь значение равное 1,3 и так далее.

Колонка метка – это текстовая аннотация, которая может быть использована в качестве легенды к слою. Ее нужно заполнить диапазонами из таблицы 5.

Цвета, указанные в этой же таблице настраиваются нажатием по квадратику с цветом.

После выполнения настройки шкалы можно улучшить визуализацию пространственной неоднородности магнитной восприимчивости – четко выделить границы между группами. Для этого в строке «Интерполяция» заменить «**Линейная**» на «**Дискретная**».

Чтобы созданную шкалу можно было применять и к другим методам интерполяции данный стиль необходимо сохранить. Для этого нажать на кнопку стиль и сохранить его в той же папке где расположен слой ms Simple Kriging. После нажать ОК.

Образец выполненных настроек показан на рисунке 40, а готовая картограмма магнитной восприимчивости почв по методу Simple Kriging на рисунке 41.

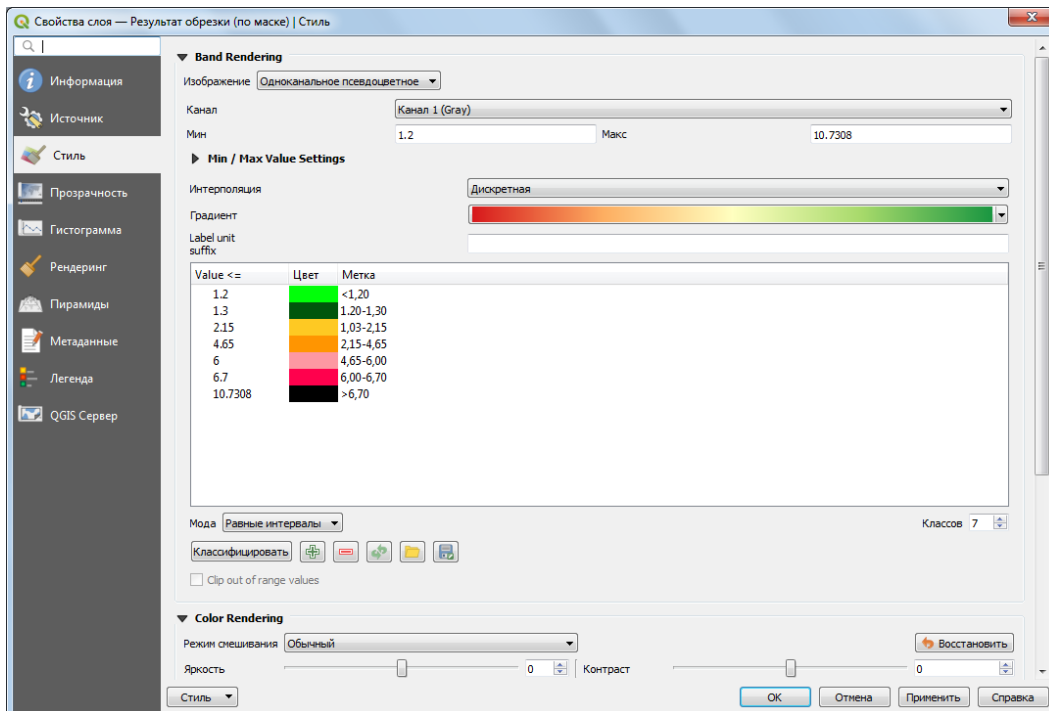


Рис. 40. Настройка стиля картограммы магнитной восприимчивости почв

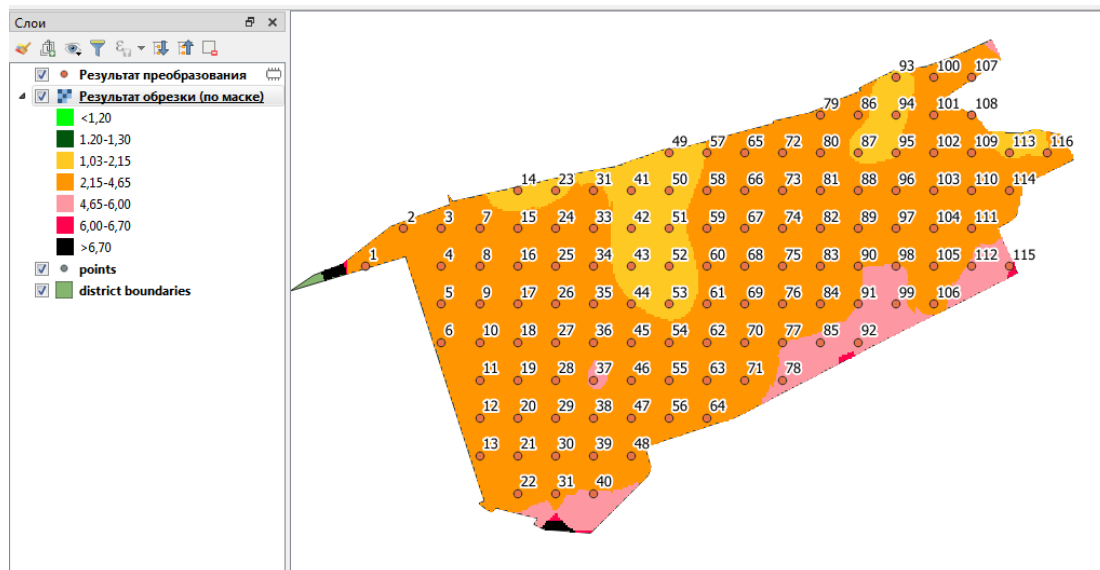


Рис. 41. Картограмма магнитной восприимчивости почв по методу Кригинга





«Одним из наиболее часто применяемых детерминированных методов интерполяции в области почвоведения является IDW (Обратное взвешенное расстояние). Его целесообразно использовать, когда набор точек достаточно плотный, чтобы фиксировать степень локального изменения поверхности, необходимую для анализа. IDW определяет значения ячейки с использованием линейно-взвешенного набора комбинаций точек выборки» [15].

Например, для территории города Чусового Пермского края методом обратного взвешенного расстояния была создана карта объемной магнитной восприимчивости почв. Она представлена на рисунке 42 [4]. «Назначенный вес является функцией расстояния от входной точки до местоположения выходных ячеек. Чем больше расстояние, тем меньшее влияние на интерполированную ячейку оказывает выходное значение» [15]. Так как IDW не предусматривает вычисление стандартных ошибок интерполяции, обоснование использования этой модели является проблематичным. Интерполированное значение при применении метода IDW определяется по формуле (1):

$$z(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{h_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_{ij}^\beta}} \quad (1)$$


где  $z(x_0)$  – интерполированное значение;

$n$  – общее количество значений данных выборки;  $x_i$  –  $i$ -е значение данных;

$h_{ij}$  – расстояние между интерполированным значением и значением данных выборки;

$\beta$  – весовое значение.

Создание интерполированной поверхности магнитной восприимчивости почв методом IDW включает следующие этапы

1). На панели атрибутов QGIS нажать на кнопку «**Панель инструментов**» . В окне поиска инструментов анализа набрать IDW и выбрать IDW interpolation (рис. 43).

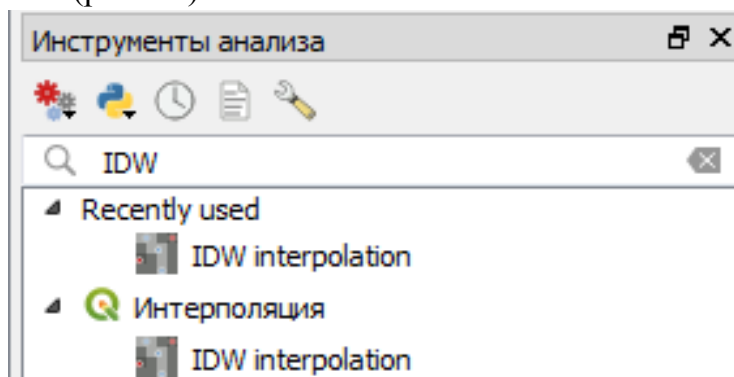




Рис. 43. Выбор метода интерполяции IDW

2). Заполнить окошко IDW interpolation следующими исходными данными: векторный слой **points**; атрибут интерполяции **ms**; внутреннее окошко «исходные слои» заполнить с помощью кнопки ; для выбора охвата интерполяции нажать  и выбрать полигональный слой в границах которого будет построена непрерывная поверхность. В данном примере слой – **district boundaries** (рис. 44). Нажать Run in Background.

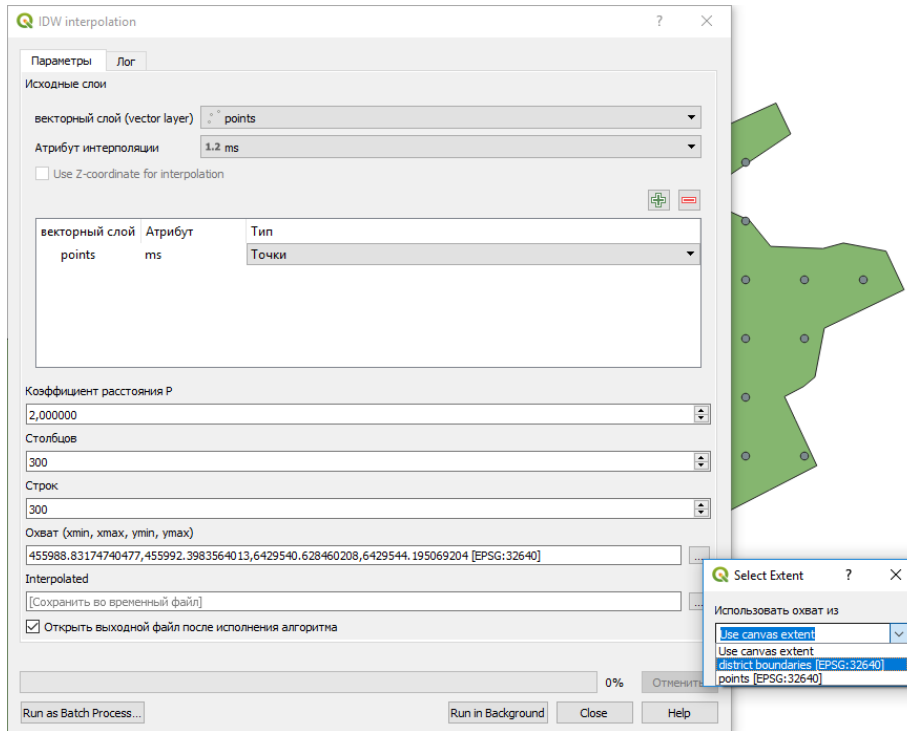


Рис. 44. Заполнение окна IDW interpolation

В результате выполнения интерполяции на панели слоев будет добавлен новый растровый слой **Interpolated**, а сама непрерывная поверхность объемной магнитной восприимчивости будет иметь вид представленный на рисунке 45.

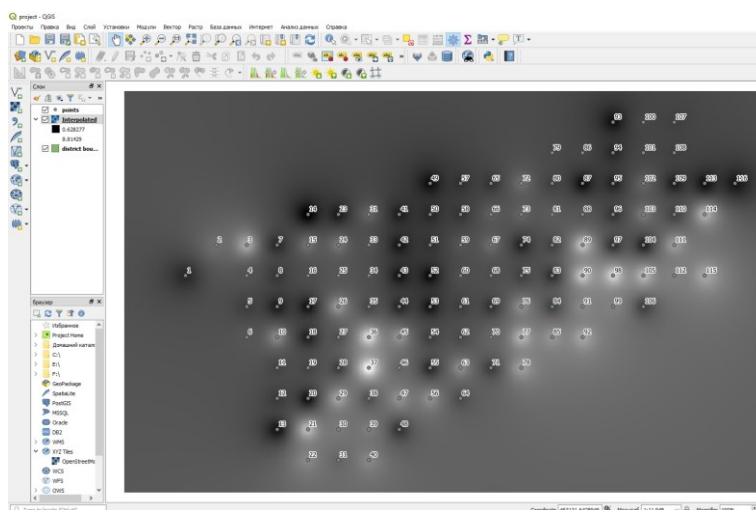


Рис. 45. Результат интерполяции

Дальнейшая обработка полученной поверхности выполняется аналогично описанному выше методу Simple Kriging. Для настройки стиля нужно во вкладке «Стиль» нажать на расположенную внизу кнопку «Стиль» и выбрать «Load Style» (рис. 46).

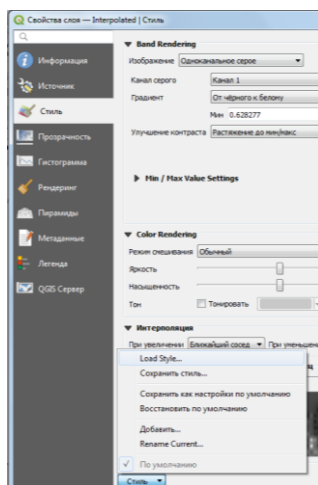


Рис. 46. Загрузка стиля

В результате интерполяция магнитной восприимчивости почв по методу ОВР, изображение картосхемы будет иметь совсем иной вид (рис. 47).

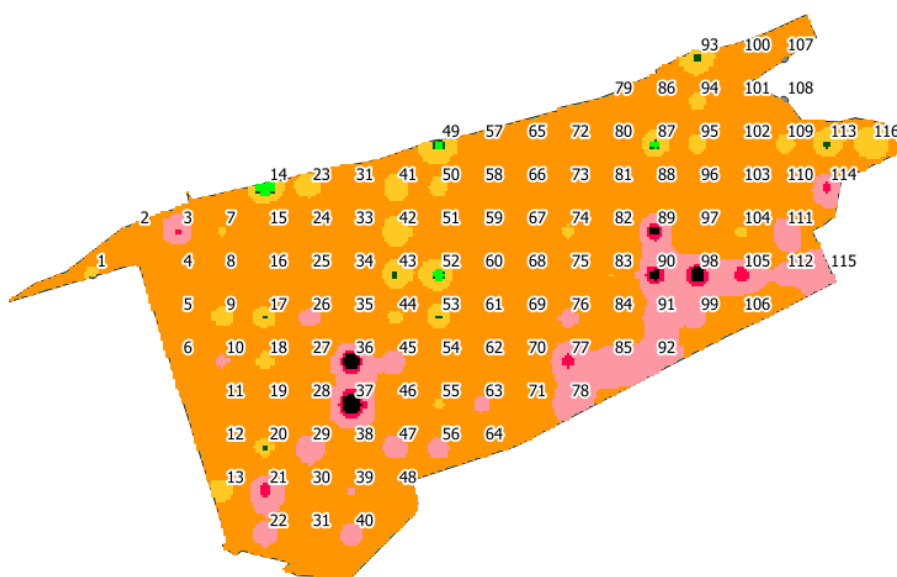



Рис. 47. Картограмма объемной магнитной восприимчивости почв по методу ОВР

**Сплайн интерполяция.** При выполнении оценки пространственного распределения свойств верхнего горизонта почв применяется метод интерполяции Радиальные базисные функции (RBF). Он содержит жесткие интерполяторы, которые создают сглаженные поверхности. Они дают хорошие результаты для плавно меняющихся значений. Поскольку интерполяторы являются жесткими, радиальные базисные функции могут быть ло-

кально чувствительны к выпадающим значениям (то есть поверхность будет содержать локально высокие или низкие значения). Метод RBF представляет собой семейство из пяти методов детерминированной точной интерполяции: тонкопленочный сплайн (TPS), сплайн с напряжением (SPT), полностью регуляризованный сплайн (CRS), многоквadraticная функция (MQ) и обратная многоквadraticная функция (IMQ). Метод RBF подходит к поверхности через измеренные значения проб при минимизации общей кривизны поверхности и неэффективен, когда происходит резкое изменение значений поверхности на коротких расстояниях [15].

Для выбора метода интерполяции сплайнами на панели атрибутов QGIS нажать на «Панель инструментов» . В окне поиска инструменты анализа набрать spline. В списке SAGA/ raster creation tools можно выбрать определенный метод. Например, из описанных выше тонкопленочный сплайн (TPS) будет называться «thin plate spline». Для интерполяции сплайнами в качестве исходного слоя используется points (тип геометрии мультиточка).

**Интерполяция методом ближнего соседства (естественной окрестности).** При создании интерполированных картограмм содержания тяжелых металлов и суммарного загрязнения в почвах урбанизированных территорий может применяться метод ближнего соседства (natural neighbor). Так, например, для территории г. Чусовой Пермского края были созданы интерполированные картограммы пространственного распределения цинка, никеля, меди и суммарного загрязнения почв методом natural neighbor (рис. 48-49)

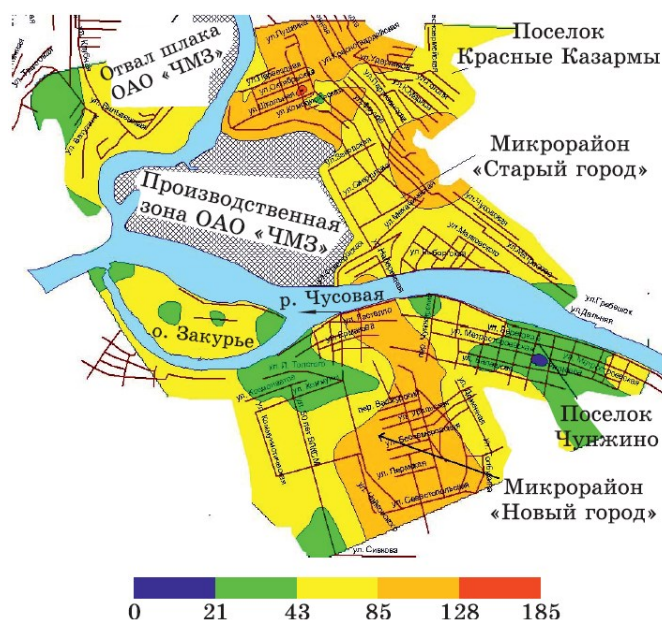


Рис. 48. Карта содержания никеля в почвах города Чусовой мг/кг [6]



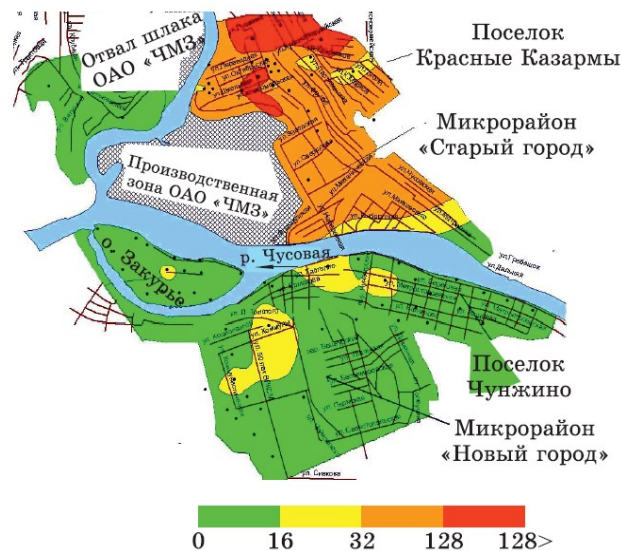


Рис. 49. Карта суммарного загрязнения  $Z_{st}$  почв города Чусовой мг/кг [6]

Интерполяция natural neighbour находит самое близкое подмножество входных образцов к запрошенной точке и применяет к ним веса, основанные на пропорциональных областях, чтобы интерполировать значение. Она также известна как интерполяция Сибсона или «захватывающей области». Ее основные свойства – то, что являясь местной, она использует только подмножество образцов, которые окружают точку запроса, и то, что интерполированные значения гарантировано будут в пределах диапазона используемых образцов. Она не выводит тренды и не будет создавать пики, ямы, ребра или точки минимума, которые уже не представлены входящими образцами [10].

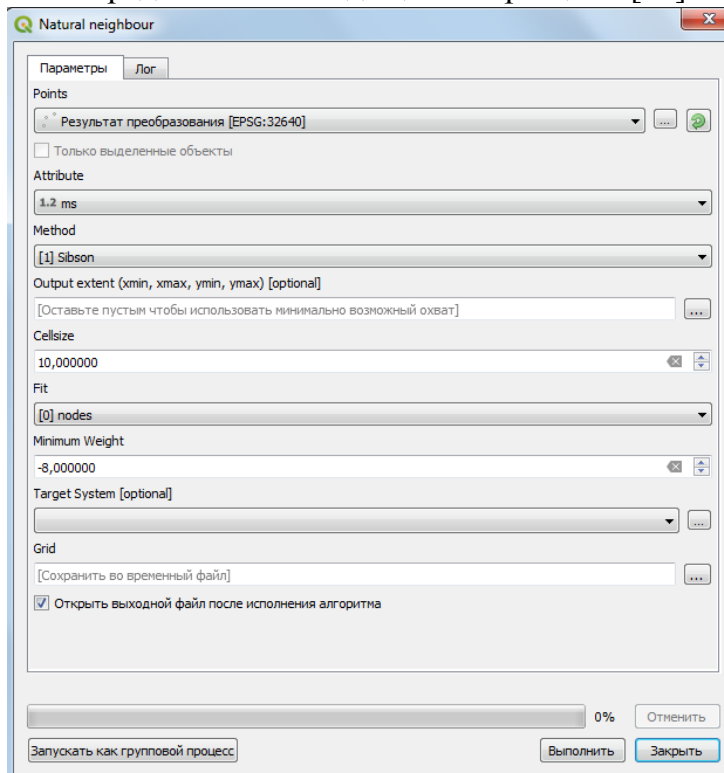

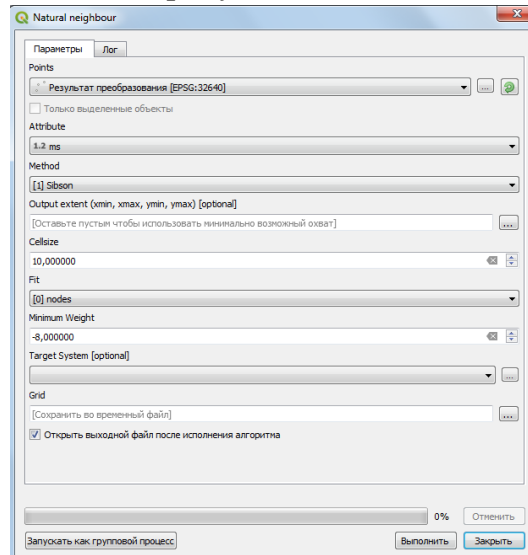


Рис. 50. Параметры интерполяции методом natural neighbour

Для выбора метода интерполяции ближнего соседства на панели атрибутов QGIS нажать на «Панель инструментов» . В окне поиска инструменты анализа набрать natural neighbor (рис. 50). В списке SAGA/ raster creation tools нужно выбрать natural neighbor. Затем заполнить параметры интерполяции как показано на рисунке.



Таким образом, при использовании различных методов интерполяции пространственная неоднородность объемной магнитной восприимчивости почв будет иметь свои особенности. Примеры четырех моделей объемной магнитной восприимчивости почв заданного участка представлены на рисунке 51.

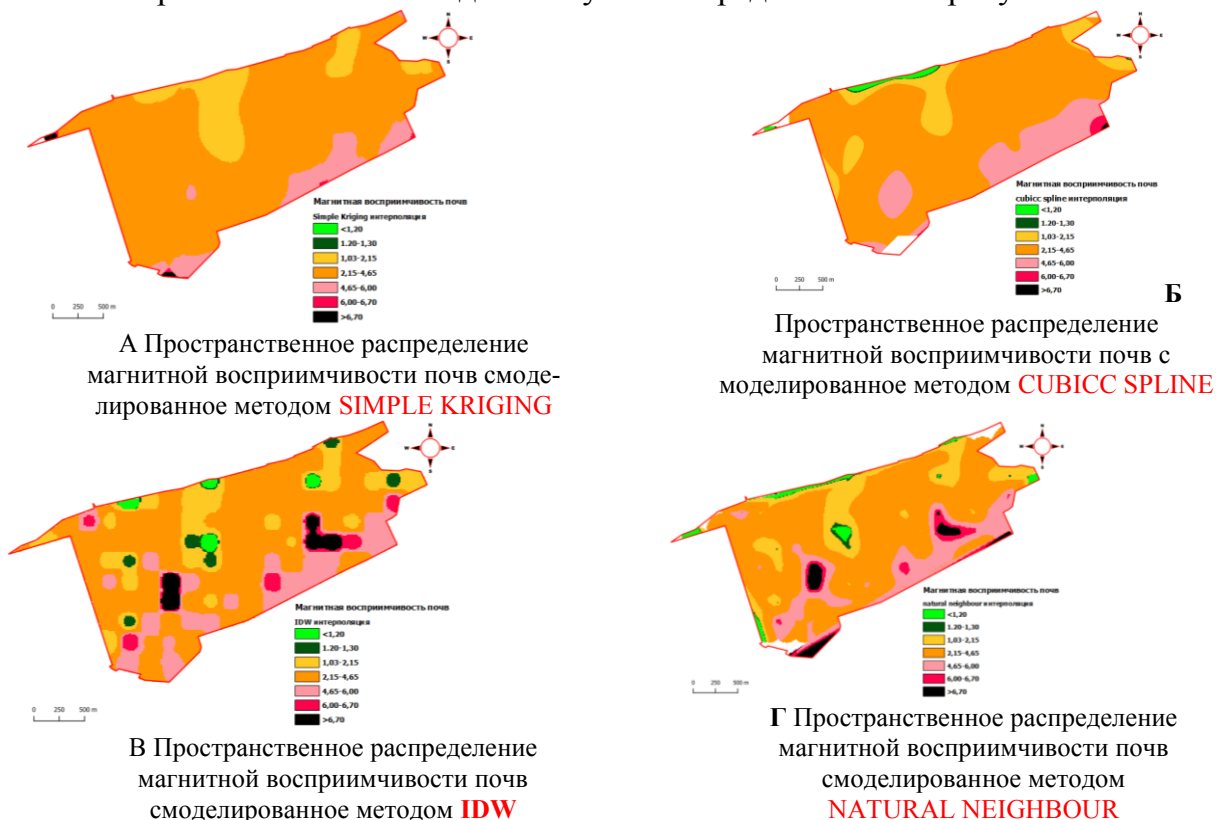


Рис. 51. Пространственные модели магнитной восприимчивости почв



## Выбор пространственной модели магнитной восприимчивости почв

Наиболее важной характеристикой интерполированной поверхности является степень ее достоверности. Для оценки точности интерполяции применяется перекрестная проверка, основанная на сравнении значений по результатам интерполяции и в точках измерений. Для ее выполнения в QGIS нужно удалить одну точку, построить поверхность, взять значение в этой точке и сравнить с правильным значением. Эта операция выполняется многократно для каждой модели и желательно по всем точкам.

Кроме этого при выборе результата интерполяции можно учесть насколько полученная поверхность соотносится с легендой. Так, например, в результате интерполяции методом SIMPLE KRIGING первые две группы восприимчивости почв: до 1,2 «**Очень низкая**» и 1,2 -1,3 «**Низкая**» на карте не отображаются, в связи с низкой частотой их значений.

Также можно выполнить сравнение моделей по их статистическим характеристикам. Рассмотрим вычисление статистических характеристик моделей магнитной восприимчивости почв. Исходными данными являются значения пикселей растровых слоев интерполированных поверхностей, а результаты расчета записываются в векторный слой, который целиком охватывает границы интерполяции. Это слой «**Границы района**».


Например, изучить величину стандартного отклонения пространственной модели можно с помощью модуля «Зональная статистика». Данный инструмент вычисляет в границах района значения интерполированной поверхности ОМВ:

Можно вычислить следующие значения

- Количество
- Сумма
- Среднее
- Медиана
- Стандартное отклонение
- Минимум
- Максимум
- Диапазон
- Меньшинство (minority)
- Большинство (majority)
- Разнообразие (variety).

Порядок работы с модулем «Зональная статистика»:

- 1). Нажать на кнопку «**Панель инструментов**» . В окне поиска

инструменты анализа набрать «Зональная статистика» и выбрать  Зональная статистика;

2). Выбрать слои: Растровый слой – Simple Kriging, векторный слой – district boundaries. Заполнить префикс поля статистики (заголовок колонки таблицы атрибутов отдельного статистического показателя): например **simple kriging\_**.

3). Войти в раздел Statistics to calculate и отметить необходимый показатель статистики - **std. dev.** как показано на рисунке 52.

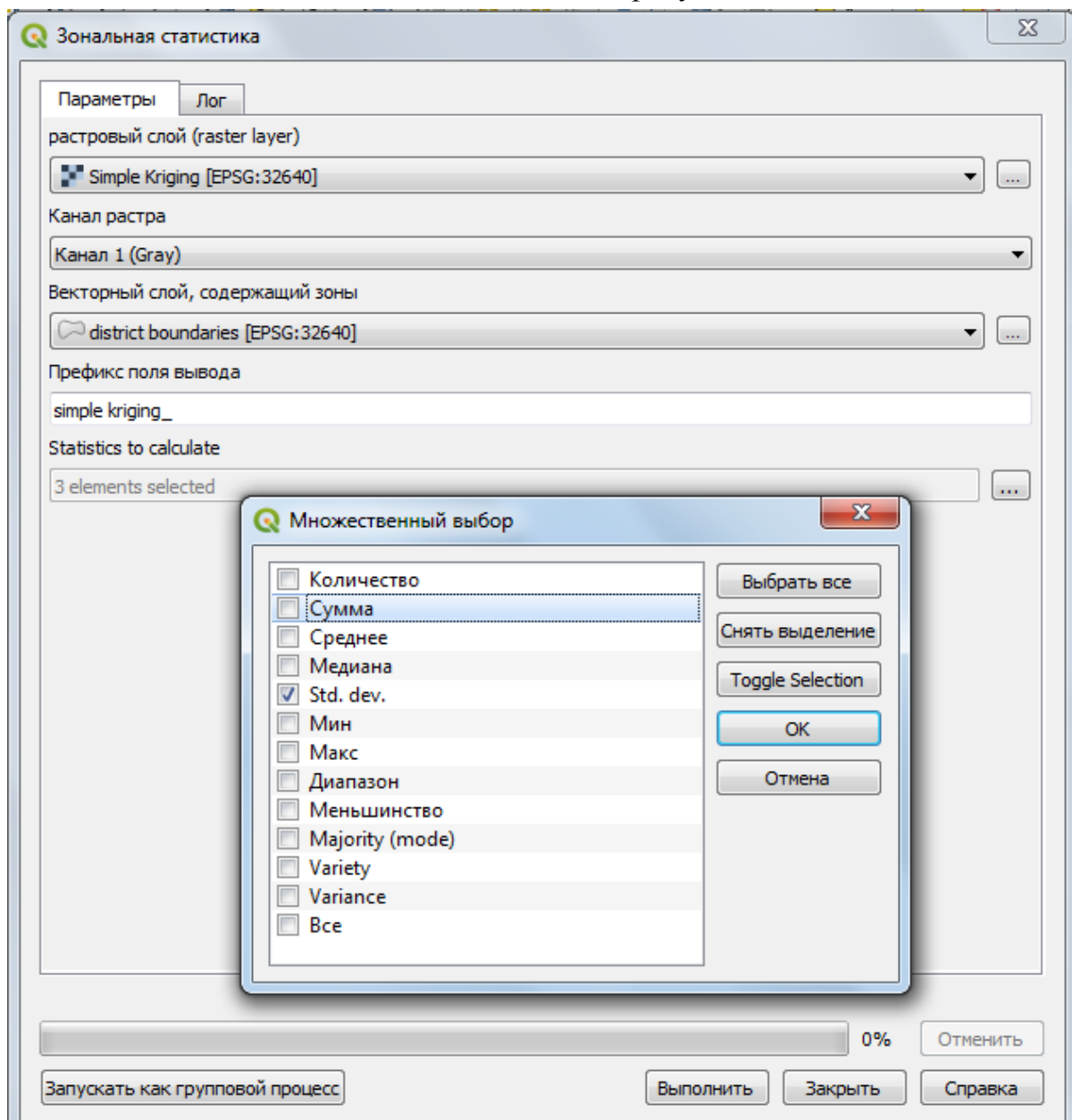


Рис. 52. Параметры расчета стандартного отклонения пространственной модели

4). Повторить эту операцию для остальных пространственных моделей (IDW, NATURAL NEIGHBOUR, CUBICC SPLINE) магнитной восприимчивости почв, каждый раз при этом заполняя префикс поля статистики соответствующим методом.

5). Результаты «Зональной статистики» будут записаны в атрибутивную форму слоя district boundaries. Для их просмотра нажать на этот слой правой кнопкой мыши и из списка выбрать «открыть таблицу атрибутов». Последние 4 колонки атрибутивной формы будут заполнены значениями стандартного отклонения (рис. 53).

_idwstdev	_krigingst	_splinestd	netural_st
1,495588165952...	0,946071096246...	1,076629167878...	1,531198254036...

Рис. 53. Результаты расчета стандартного отклонения в атрибутивной форме слоя district boundaries

Полученные значения оформить в виде таблицы 7:

Таблица 7

Стандартное отклонение пространственных моделей магнитной восприимчивости почв

Метод интерполяции	<b>SIMPLE KRIGING</b>	<b>CUBICC SPLINE</b>	<b>IDW</b>	<b>NATURAL NEIGHBOUR</b>
Значение стандартного отклонения	0,94	1,07	1,49	1,53

Таким образом, наименьшее стандартное отклонение у модели SIMPLE KRIGING, а наибольшее у модели NATURAL NEIGHBOUR. Однако оформление картосхемы на основе пространственной модели Кригинга для данного участка не представляются возможным в соответствии с разработанной шкалой. Результаты интерполяции SIMPLE KRIGING не отображают ареалов с низкой частотой значений, которые соответствуют группам «Очень низкая» и «Низкая». Следовательно, оптимальным для полученных результатов магнитометрической съемки будет метод CUBICC SPLINE.

### **3.4. Оформление карты объемной магнитной восприимчивость почв**

Оформление окончательного варианта карты называется компоновкой.

Компоновка карты согласно ГОСТ 21667-76 «Картография термины и определения» [8]– это расположение рамки карты относительно изобража-

емой на карте области и размещение названия карты, ее легенды, дополнительных карт и других данных.

Примерное оформление макета карты показано на рисунке 54:

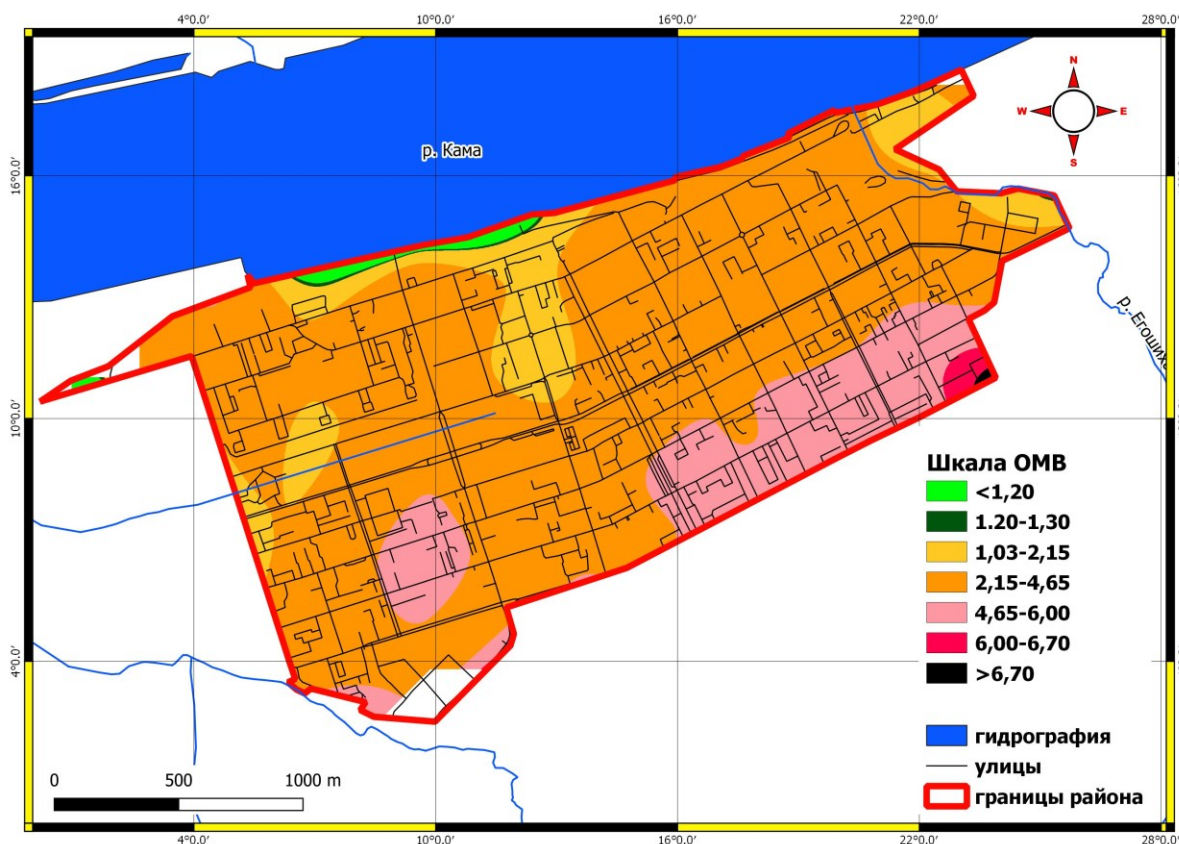


Рис. 54. Пример компоновки готовой карты

**Подготовка слоев общегеографической основы.** Описанная в теме 1 группа «Слой spatial db» содержит следующий перечень слоев общегеографического содержания: «water» (гидрография: 2 слоя линии – «line string» и полигоны – «polygon»); «roaddesign» (улицы); «buildings» (здания, тип геометрии «polygon»); «boundarys» (административно-территориальное деление). При этом слой «boundarys» уже был выделен в отдельную территорию. Поэтому его можно удалить из данной группы, а остальные слои кроме «water» необходимо обрезать по границам района, представленным рабочим слоем district boundaries. Сам слой district boundaries для удобства работы можно переместить в группу «Слой spatial db».

Таким образом, слои общегеографической основы и вид карты должны выглядеть как показано на рисунке 55.

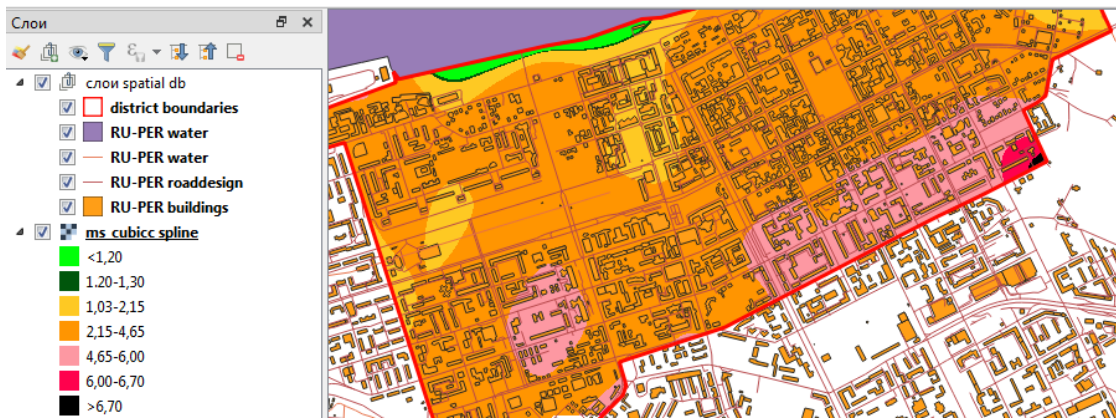


Рис. 55. Набор слоев и вид карты на фоне результатов интерполяции

Ход подготовки общегеографической основы будет следующим:

- 1). Обрезка слоя «roaddesign» (улицы). Выполнить команду Вектор → Геообработка → обрезать (В версиях QGIS до 3.2. слои подлежащие геообработке сохраняются в формате ESRI шейп-файл). Заполнить параметры «Обрезать»: «Исходный слой» - выбрать RU-PER roaddesign и «Overlay layer» - выбрать district boundaries (рис). Нажать **Выполнить** (рис. 56).

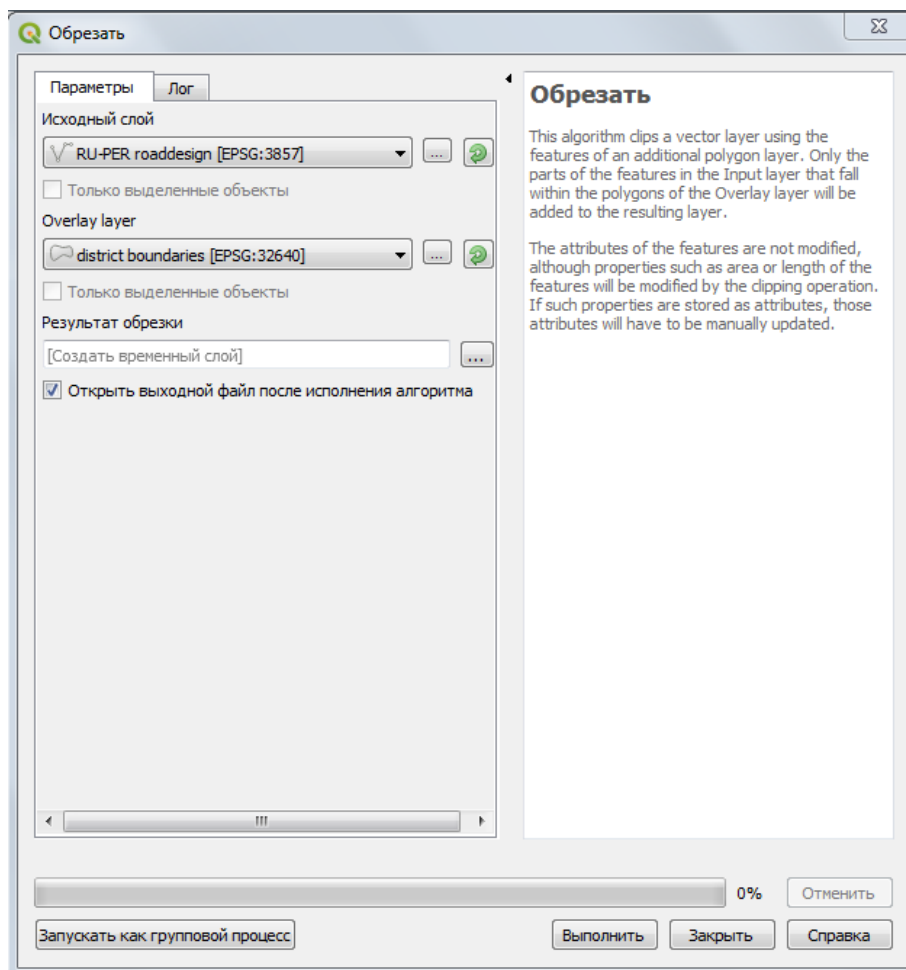



Рис. 56. Параметры обрезки слоя



После выполненной обрезки будет создан слой «Результаты обрезки».

2) Сохранение слоя. Нажать правой кнопкой мыши по слою «Результаты обрезки», выбрать экспорт → Save Features As. Затем сохранить слой под именем roaddesign аналогично сохранению слоя district boundaries (описано в п. 1.3). Слой будет добавлен в группу «Слой spatial db», а полное покрытие RU-PER roaddesign можно удалить.

3). Настройка стиля слоя roaddesign. Настроить стиль линий черным (вкладка стиль слоя).

4). Линейный и площадной слой «water» на панели слоев расположить сверху. Выбрать синий цвет их отображения. Отдельные объекты слоев «Гидрография» можно подписать. Например, для создания подписи р. Кама сначала необходимо пересохранить этот слой в формате шейп-файл. Затем в таблице атрибутов нового слоя добавить поле «Имя» и в режиме карты внести имя для полигона Воткинского водохранилища инструментом «Определить объекты» . В результате порядок слоев и внешний вид карты будет иметь вид (рис. 57):

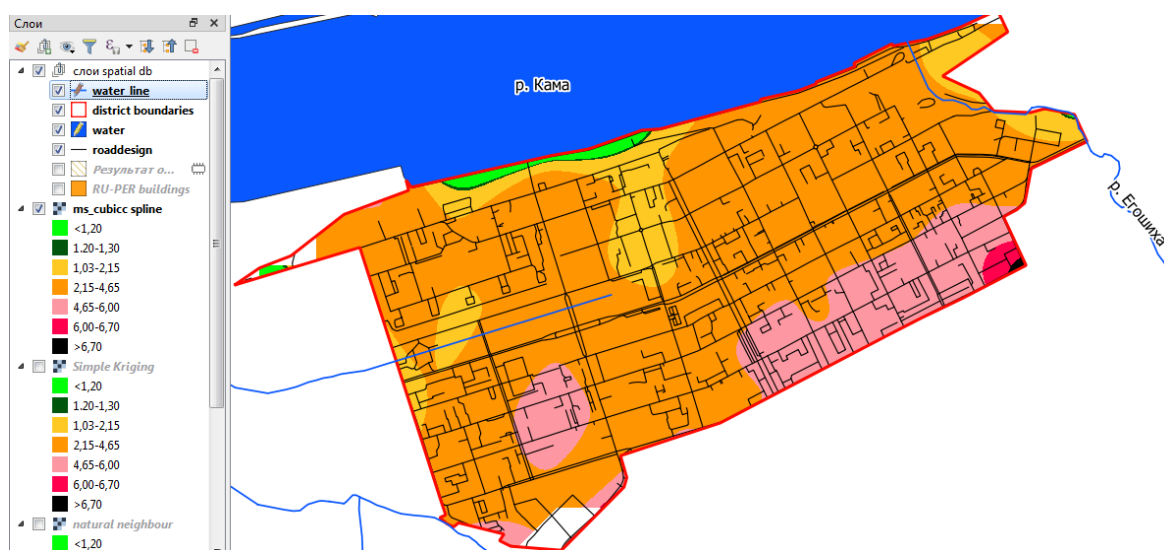


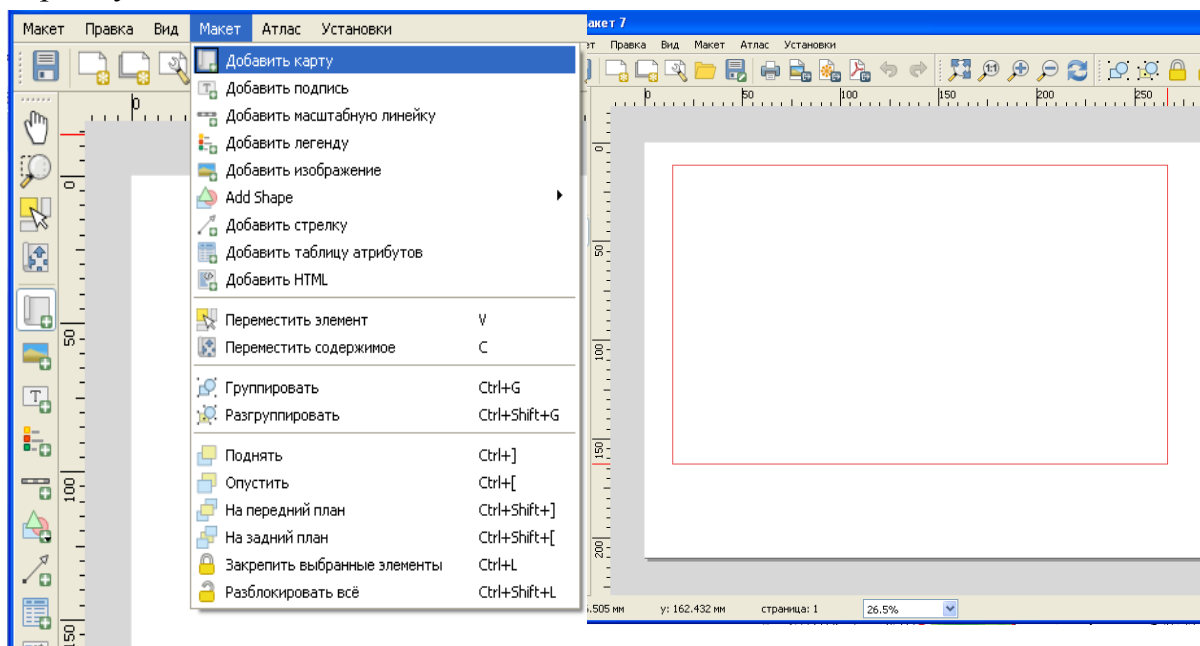
Рис. 57. Компоновка слоев и вид карты магнитной восприимчивости почв

Для компоновки карты в QGIS служит макет. Основные этапы работы с макетом описаны ниже.

1). **Создание макета.** В строке меню выбрать Проекты → New Print layout (Создать макет). Окно «Название макета» можно заполнить или оставить пустым для автоматической генерации имени → ОК.

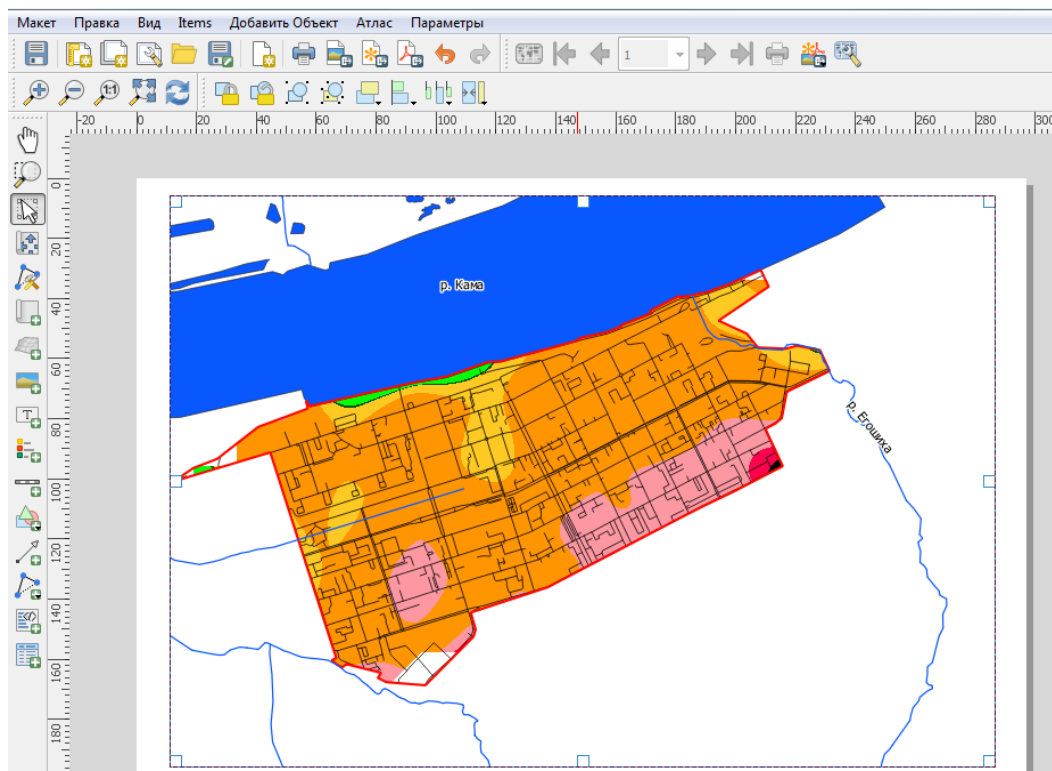
2). **Добавление карты в макет.** Строка меню макета содержит два пункта «Макет». Команда добавления карты расположена в меню «Макет»

между «Вид» и «Атлас». Выбрать первое «Добавить карту» (рис. 58). Затем на белом листе удерживая левую кнопку мыши растянуть произвольный прямоугольник.



1. Вызов рамки для добавления карты

2. Нанесение рамки на лист макета (левой кнопкой мыши)



3. Вывод карты из проекта

Рис. 58. Этапы добавления карты в макет



**3). Настройка рамки карты.** Панель настройки элементов карты расположена справа от листа макета. Верхняя часть панели содержит список элементов добавленных в макет (например, существует 1 элемент – «Карта 0»). По мере компоновки число элементов возрастет. Вторая часть панели (нижняя) содержит общие настройки макета во вкладке «Макет» и параметры отдельных элементов макета во вкладке «Свойства элемента».

Перед настройкой самой рамки, во вкладке «Макет» следует задать ориентацию страницы. В данном примере оптимальной будет альбомная и она существует при запуске макета. При необходимости можно изменить ориентацию листа - для этого нажать правой клавишей мыши по «белому листу» макета и выбрать «Параметры листа» («Properties»). Затем перейти к настройке самой рамки карты выбрав вкладку «Свойства элемента».

Вкладка «Свойства элемента» содержит несколько разделов (Свойства элемента, Границы, Сетки и т.д.). Для настройки определенного свойства нужно нажать на соответствующую кнопку. Настройка «Свойства элемента» (рис. 59). В данном разделе необходимо установить масштаб карты, который обозначается в числовом формате. Масштаб в котором выполнена данная магнитометрическая съемка равен 1:25000. Таким образом, в поле «Масштаб» ввести 25000 (означает в 1 см 250 м).

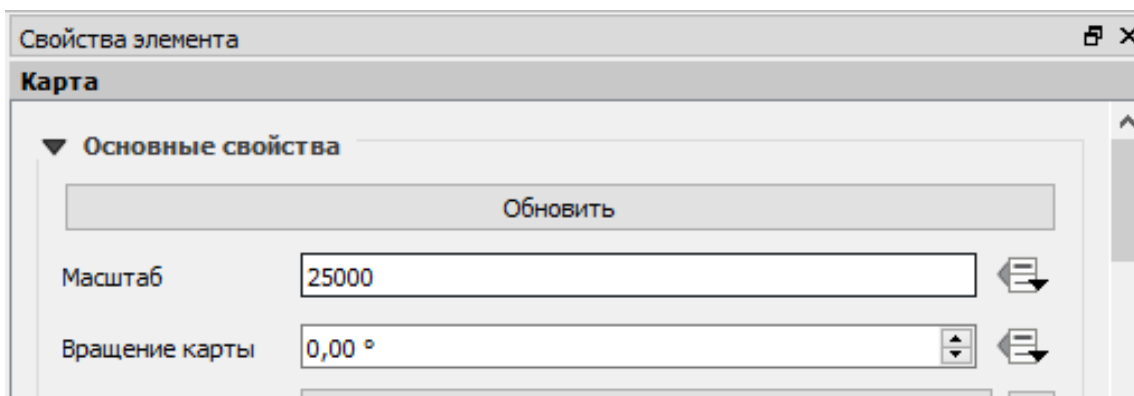

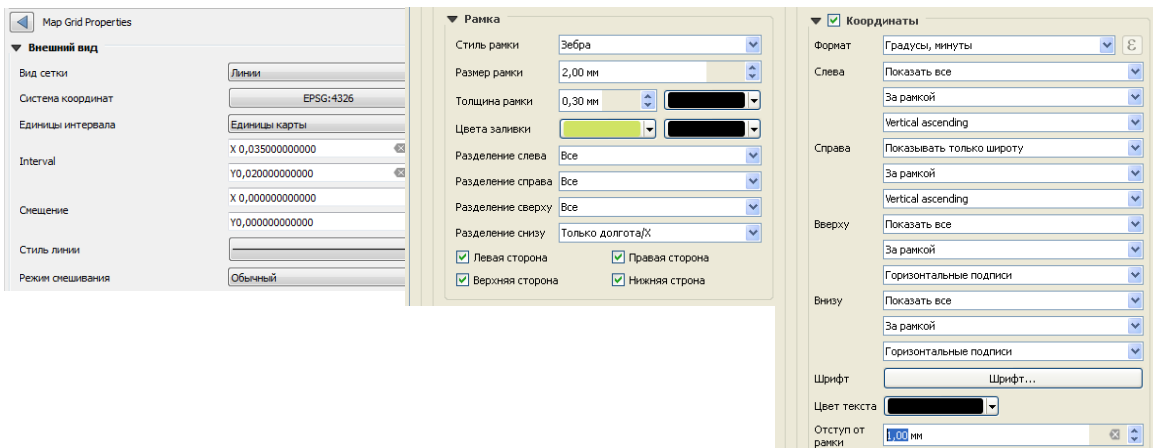


Рис. 59. Настройка масштаба карты в компоновке

**4). Настройка «Сетки».** Нажать  «Добавить новую сетку». Раздел «Сетки» содержит 3 подраздела: «Нарисовать «Сетка 1 Сетку»; «Рамка»; «Координаты». Данные подразделы последовательно раскрываются друг за другом сверху вниз по мере заполнения. Примеры заполнения подразделов показаны на рисунке 60.



«Сетка 1 Сетку»

«Рамка»

«Координаты»

Рис. 60. Настройка раздела «Сетки»

Отдельно для координат можно настроить шрифт.

В результате выполнения настроек рамки карты, она может иметь следующий вид (рис. 61).

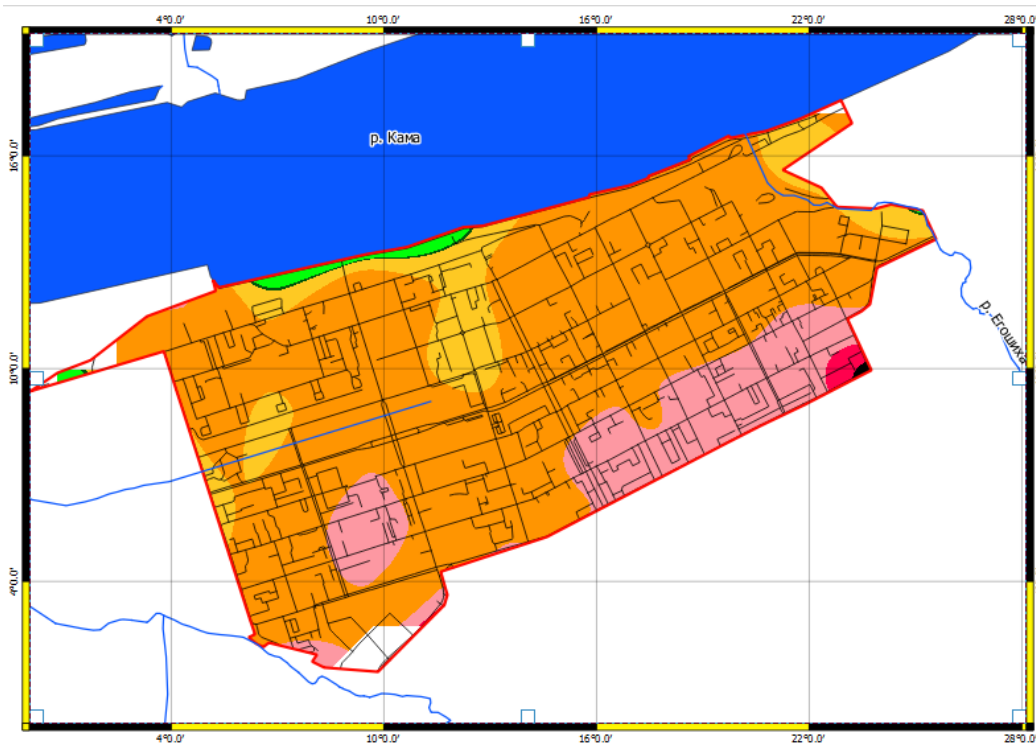






Рис. 61. Пример настроенной рамки

Остальные элементы карты добавляются кнопками панели расположенной вертикально слева. В горизонтальном положении панель имеет вид:



**5). Легенда карты.** Легенда добавляется кнопкой  «Добавить легенду», аналогично выводу рамки карты (в любой части макета нужно нарисовать прямоугольник с помощью левой кнопки мыши). После вывода в макет, легенда содержит информацию о всех слоях карты. Для изменения нагрузки легенды в «Элементы легенды» нужно убрать флажок «Автообновление» и затем кнопкой  «убрать лишнее», исключить ненужные элементы. Следующее свойство легенды «Шрифты» - позволяет настроить шрифт заголовка и отдельных элементов легенды. Ниже расположена настройка «Колонки». Поскольку легенда растянута вертикально, ее можно разбить на колонки: задать число колонок, ниже поставить галочку «Разбивать слой». Расположение легенды справа внизу выполняется с помощью кнопки панели  «Выделить. Переместить элемент». При этом легенда может закрыть часть карты. Для настройки положения карты используется инструмент  «Переместить содержимое элемента». Пример вида легенды и его настройки показаны на рисунке 62.

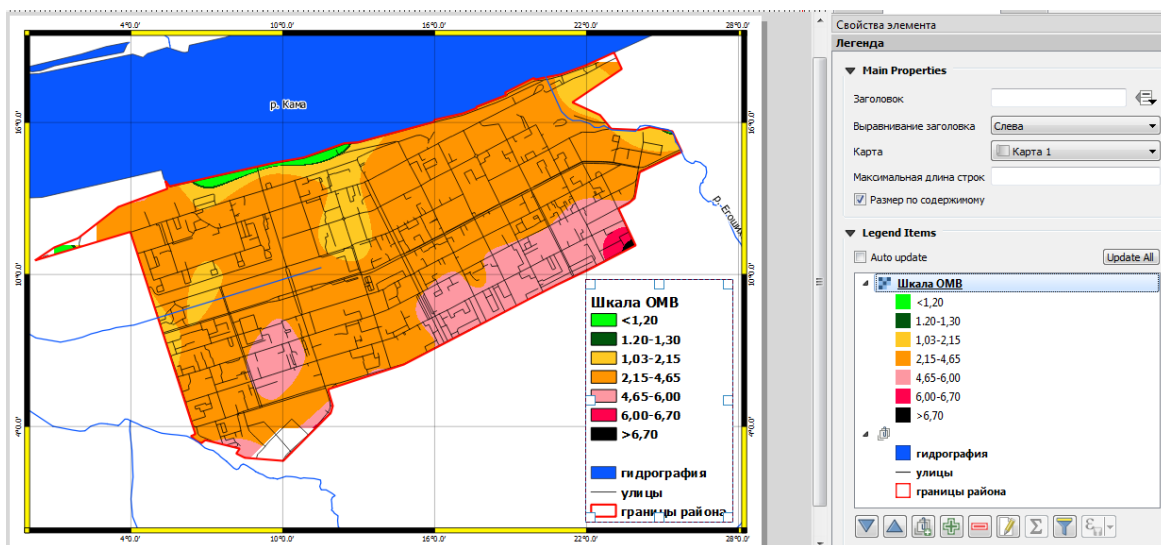




Рис 62. Настройка и размещение легенды карты

**6). Масштабная линейка.** Вывод масштабной линейки выполняется кнопкой «Добавить масштабную линейку» . Расположить масштабную линейку в оставшемся месте рамки карты под легендой. Настройка линейки. Высота линейки настраивается вручную инструментом  «Выде-

литель. Переместить элемент». Подобрать ширину линейки под размер легенды можно в разделе «Сегменты» свойств элемента «Масштабная линейка»: уменьшить число сегментов справа. Добавить фон линейки в нижней части свойств масштабной линейки. Пример оформления масштабной линейки показан на рисунке 63.

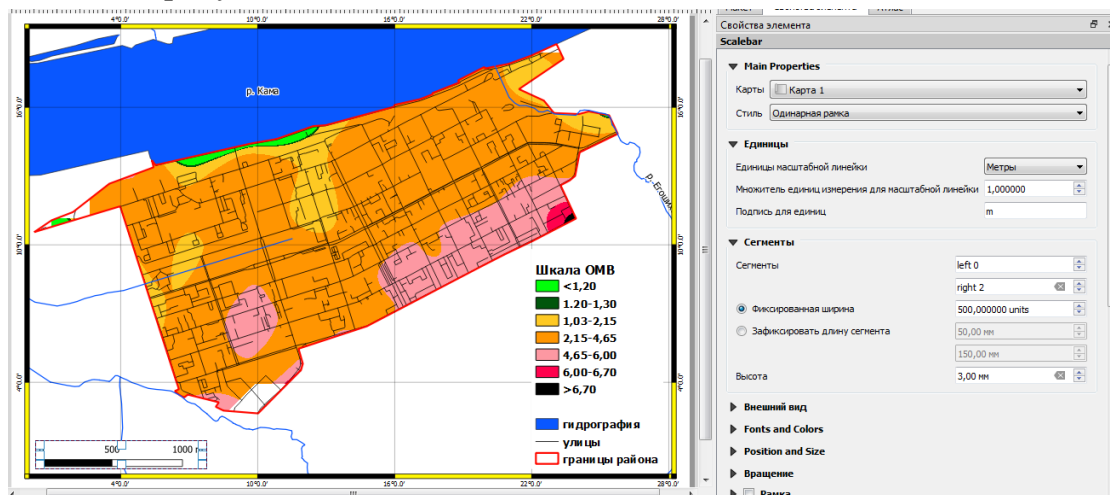


Рис. 63. Расположение и настройка масштабной линейки

#### 7). Стрелка севера. Вставка стрелки севера выполняется кнопкой



«Добавить изображение». При этом добавление стрелки происходит из свойства элемента «Искать в каталогах».

8). Экспорт карты. Экспорт карты – это сохранение результатов компоновки в графическом формате для дальнейшего включения в отчеты или для печати. Для экспорта карты можно использовать кнопки верхней панели



макета: : Экспорт в изображение; экспорт в SVG; экспорт в PDF. Эти же элементы содержатся в строке меню Макет (первый список). При сохранении в изображение выбрать место расположения файла. Затем в окне «Настройки экспорта изображения» нажать «Сохранить» (рис. 64).

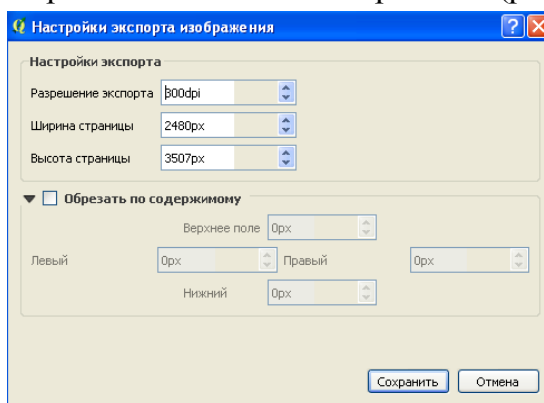


Рис. 64. Сохранение компоновки карты в графический файл

### 3.5. Практическое использование карты магнитометрической съемки почв

**Оценка магнитной восприимчивости на территории социально-значимых объектов.** Данные для выполнения этой работы берутся из слоя «buildings» банка пространственных данных (рис. 65).

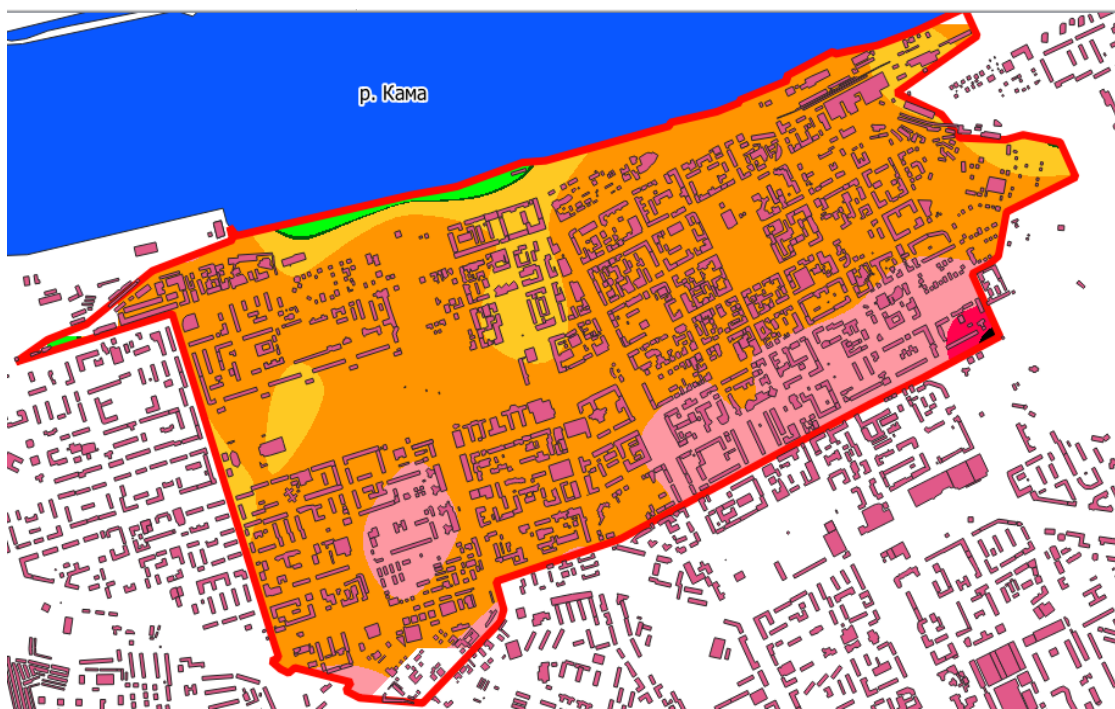



Рис. 65. Слой buildings для выбора объектов

Пользуясь справочником можно выделить несколько объектов слоя «buildings» (используя инструмент «Выбрать...» ) , которые являются социально-значимыми в заданных границах. Для правобережной территории Ленинского района приведем несколько примеров таких объектов: главный корпус ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ (ул. Петропавловская 23); Детский сад № 36 (ул. Крисанова 22а); Детский сад № 238 (М. Горького 3), Средняя школа №7 (Попова 50); Детская поликлиника №3 (ул. Екатерининская 166).

Выделенные объекты сохраняются в отдельный слой. Для того, чтобы их подписать, в атрибутах слоя создается новое поле. Затем подпись выводится на карту используя вкладку «Подписи» свойств слоя (рис. 66).

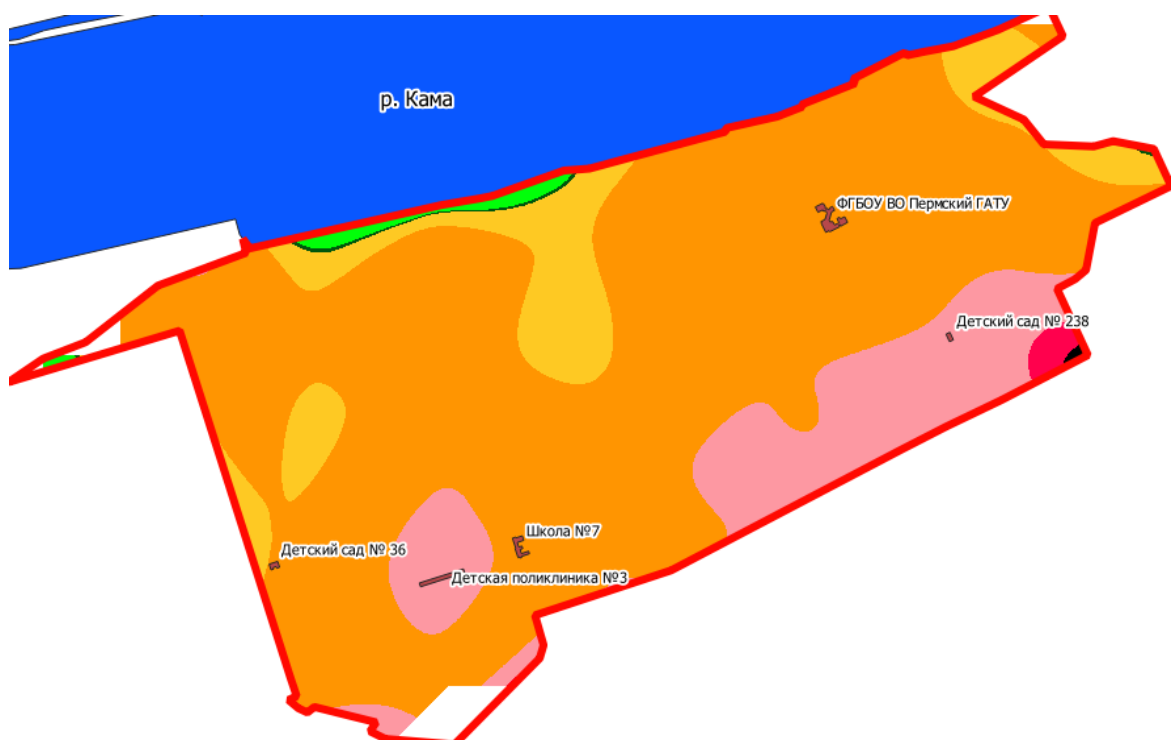



Рис. 66. Отображение местоположения некоторых социально-значимых объектов на карте магнитной восприимчивости почв Ленинского района г. Перми

Записать информацию о магнитной восприимчивости для выделенных объектов можно используя модуль  «Зональная статистика». Порядок работы с модулем «Зональная статистика» подробно описан в разделе 3.3.

Выбрать слой: Растровый слой – ОМВ, векторный слой – Здания. Заполнить префикс поля статистики (заголовок колонки таблицы атрибутов отдельного статистического показателя): например **омв\_**. Отметить необходимые показатели статистики. (например количество (число пикселей), среднее, медиана, Std. dev. (стандартная ошибка), Мин, Макс, Диапазон, Majority (mode), variance (дисперсия)) Нажать ОК. Результат вычислений будет в таблице атрибутов пересохраненного слоя «Здания» (рис. 67).

	SC_9	SC_20022	C_2002	омв_coun	омв_mean	омв_median	омв_stdev	омв_min	омв_max	омв_range	омв_majori	омв_varian
1	Детский сад № 36	улица Крисанова	22А	627	2,246887...	2,2442874...	0,037126615...	2,169538...	2,328751...	0,1592130...	2,169538736343...	0,00137...
2	ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ	Петропавловск...	23	4002	3,176548...	3,1773308...	0,071763279...	3,029903...	3,319684...	0,2897815...	3,098239660263...	0,00514...
3	Школа №7	улица Попова	50	1764	4,199877...	4,2165772...	0,060815698...	4,043169...	4,290256...	0,2470879...	4,186550140380...	0,00369...
4	Детская поликлиника №3	улица Луначарс...	90	2308	4,983765...	4,9914877...	0,031571372...	4,896674...	5,026584...	0,1299099...	4,965927600860...	0,00099...
5	Детский сад № 238	улица Максима ...	42	452	5,049108...	5,0503168...	0,025563634...	4,995517...	5,098421...	0,1029043...	5,018171787261...	0,00065...

Рис. 67. Статистика магнитной восприимчивости для выделенных зданий



Итоги оценки магнитной восприимчивости почв на территории социально-значимых объектов можно привести в виде таблицы 8.

Таблица 8

Магнитная восприимчивость почв вблизи социально-значимых объектов Ленинского района г. Перми

Учреждение	n	Средняя ОМВ	Оценка уровня ОМВ
ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ	4002	3,2	Средний
Детский сад № 36	627	2,3	Средний
Детский сад № 238	452	5,1	Выше среднего
Средняя школа №7	1764	4,2	Средний
Детская поликлиника №3	2308	5,0	Выше среднего

Такой же подход можно использовать для промышленных предприятий в границах городской территории.

**Вычисление площадей ареалов почв по группам магнитной восприимчивости.** Для вычисления площадей, выделенных на пространственной модели распределения объемной магнитной восприимчивости почв, необходимо преобразовать растровую картограмму в слой полигонов. Поэтому данная работа включает в себя 2 этапа:

- 1). Преобразование cubic spline- поверхности в полигоны
- 2). Расчет площадей участков с разными группами магнитной восприимчивости.

**Преобразование в полигоны.** Для получения площадного распределения ареалов магнитной восприимчивости почв, ее интерполированная поверхность должна быть в виде изображения. Поэтому слой «ms\_cubic spline» нужно пересохранить в другой формат. Правой кнопкой мыши выбрать «ms\_cubic spline» → экспорт → сохранить как. В параметрах сохранения указать режим «Изображение» и заполнить имя файла (рис. 68).

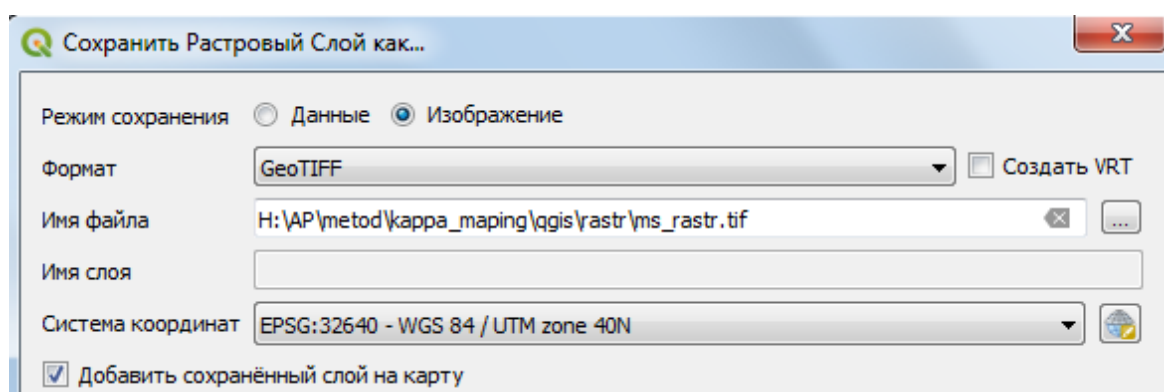


Рис. 68. Заполнение параметров сохранения



Выполнить команду Растр → Преобразование → Создание полигонов (Растр в вектор). Далее заполнить параметры создания полигонов: Выбрать в качестве исходного созданный слой - ms\_rastr (рис. 69). Указать канал преобразования - например канал 3, поскольку в синем канале значение цвета для каждой группы ОМВ будет уникально (это можно проверить, извлекая информацию о цвете изображения инструментом «Определить объекты» на слое ms\_rastr). Нажать Выполнить.

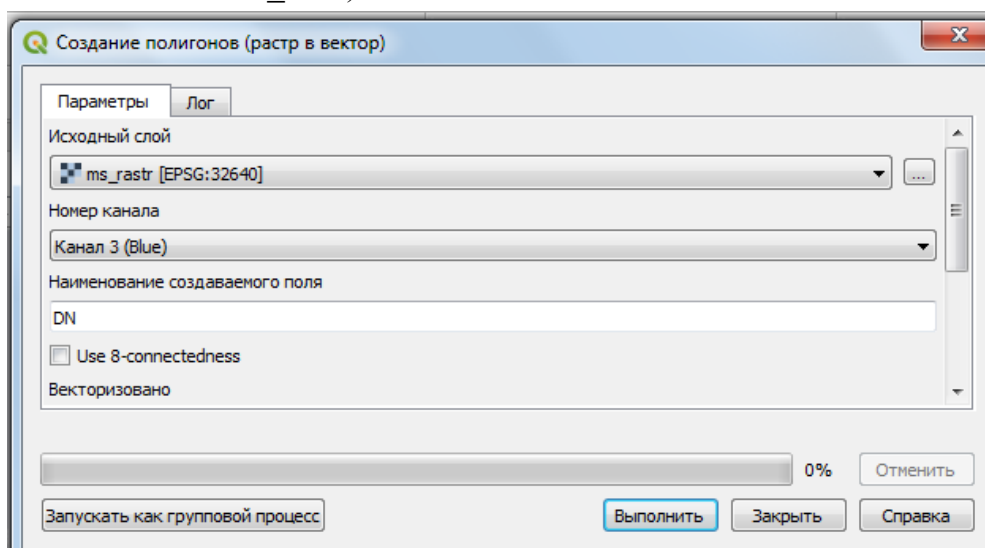


Рис. 69. Заполнение параметров создания полигонов из растра

В результате операции создается новый слой полигонов «Векторизовано». Чтобы соотнести его с цветными ареалами ОМВ нужно настроить стиль этого слоя – «Без заливки». Вид контуров на фоне интерполяции представлен на рисунке 70.

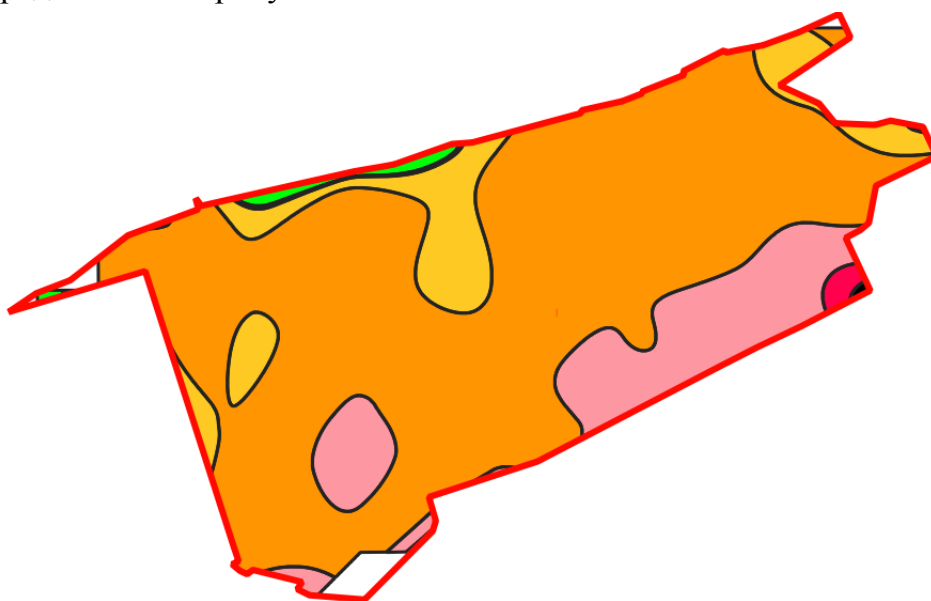


Рис. 70. Результат преобразования в полигоны интерполяции ОМВ

Вычисление площадей. Для каждого из выделенных контуров существует определенное уникальное значение цветового изображения. Оно указано в таблице атрибутов, колонка DN (означает digital number – уровень сегого). Для правильной интерпретации этих данных необходимо описать соответствующий им диапазон ОМВ. Поэтому в атрибутивной таблице слоя «Векторизовано» создается новое поле «Диапазон» (тип данных «символьное», длина не менее 10). Параметры создания приведены на рисунке 71.

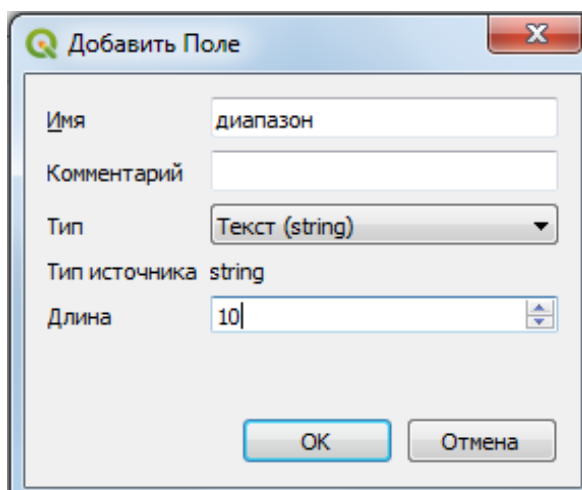



Рис. 71. Параметры создания поля «Диапазон»

Затем таблицу атрибутов можно закрыть и заполнить описание диапазона с помощью инструмента  «Определить объекты». Например, нажав по контуру розового цвета заполнить соответствующий интервал 4,65-6,00 из таблицы 5 (рис. 72).

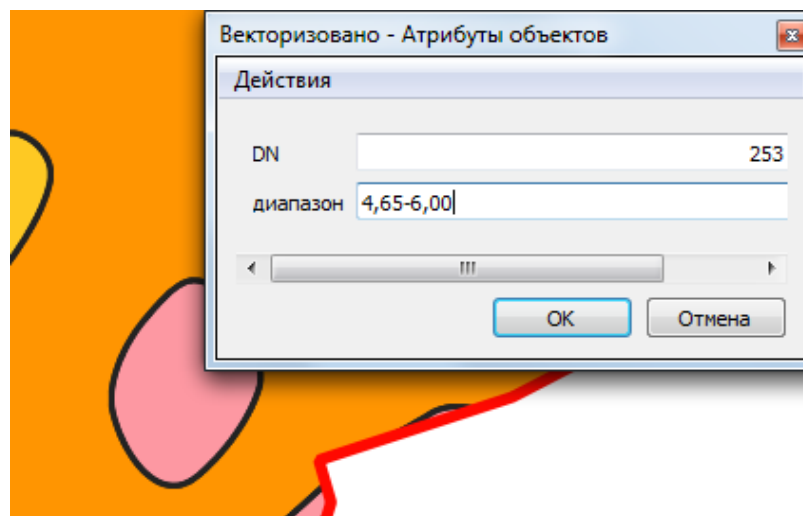


Рис. 72. Описание диапазонов контуров

Заполнять все контуры необязательно. Достаточно будет по одному из каждого цвета. Таким образом, описание диапазонов поможет правильно сгруппировать контуры. Объединив контуры по общим диапазонам, можно рассчитать площадь для каждой из групп ОМВ.

Группировка и объединение контуров выполняется в таблице атрибутов слоя «Векторизовано». Для территории правобережной части Ленинского района г. Перми всего получено 27 контуров. Это строки в таблице. Колонка DN означает цвет контура. Чтобы сгруппировать по порядку цветов, нужно нажать на название колонки «DN». После того, как значения «DN» выстроятся по возрастанию их можно объединять. Для этого выделяются строки с одинаковыми значениями «DN». Чтобы выделить строчку нужно нажать по ее номеру, а группа строк выделяется при удержании клавиши Shift (рис. 73).

	DN	диапазон
1	0	> 6,70
2	1	2,15-4,65
3	NULL	NULL
4	9	< 1,20
5	9	NULL
6	9	NULL
7	12	1,20-1,30
8	12	NULL
9	12	NULL
10	35	NULL
11	35	NULL
12	35	NULL
13	35	NULL
14	35	NULL
15	35	1,30-2,15

Рис. 73. Выделение групп ОМВ в таблице атрибутов

После того как одна группа выделена, таблицу атрибутов нужно свернуть. На карте область выделения отобразится желтым цветом (рис. 74).

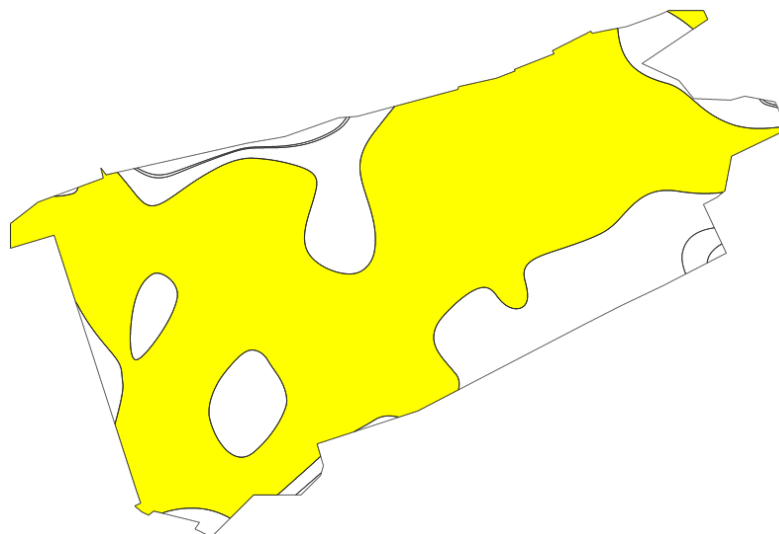


Рис. 74. Отображение выделенных объектов на карте



Объединение эти объектов выполняется нажатием на кнопку «Объединить выделенные объекты» панели «Дополнительные инструменты оцифровки» (при ее отсутствии выполнить Вид → Панели → Дополнительные инструменты оцифровки). Затем выйдет окно параметров объединения. В нем нужно заполнить значение результата для поля «Диапазон» (рис. 75). Нажать ОК.

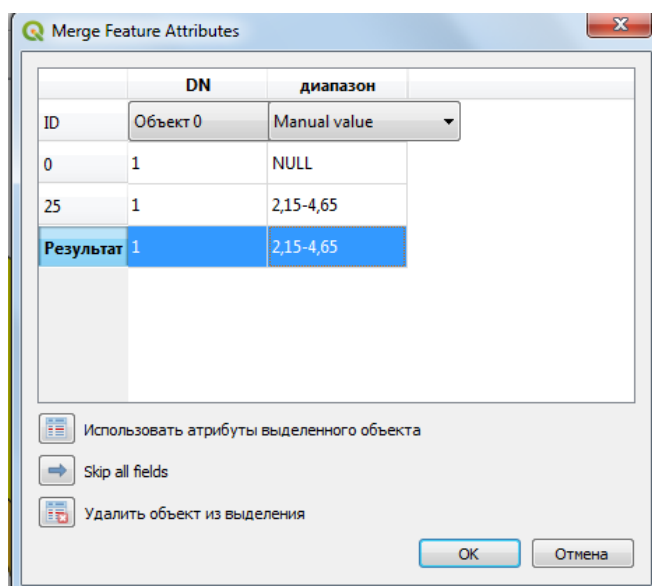


Рис. 75. Заполнение параметров объединения

Затем по данному алгоритму объединяются остальные контуры. После объединения значения колонки DN можно заменить на группы из таблицы. Таким образом, будет готов для вычисления площадей слой из семи контуров объединенных по группам магнитной восприимчивости, а атрибутивная таблица будет иметь вид показанный на рисунке 76.

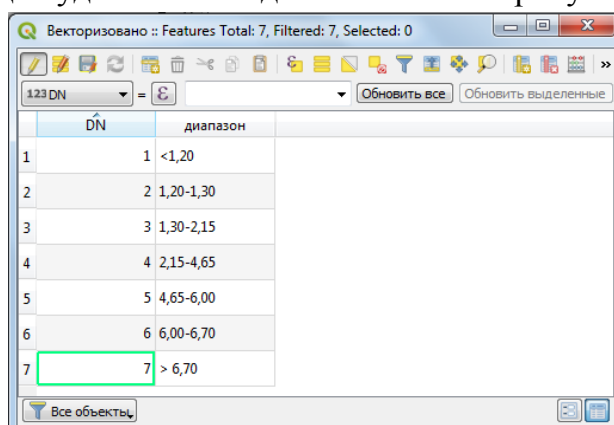


Рис. 76. Вид таблицы атрибутов слоя «Векторизовано» в результате группировки и объединения контуров

Перед вычислением площадей объединенных контуров нужно настроить единицы их измерения в свойствах Проекта. Выбрать Проекты →

Свойства проекта (Properties) → Общие → единицы измерения площадей – квадратные километры.

Для записи рассчитанной площади создать новую колонку площадь. Параметры создания приведены на рисунке 77.

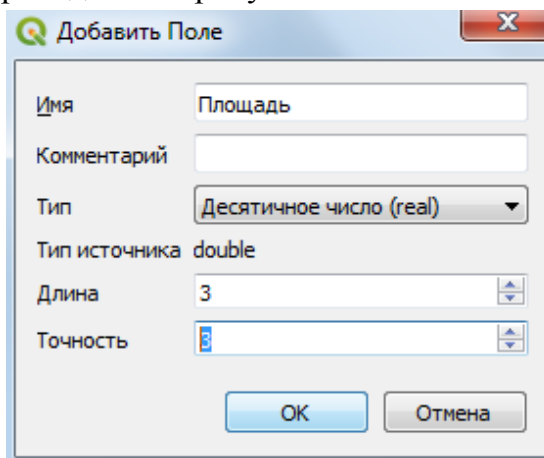
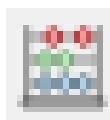


Рис. 77. Параметры создания поля «Площадь»

Затем для вычисления площади нажать на кнопку панели



инструментов атрибутивной формы «Открыть калькулятор полей». В калькуляторе плей отметить «Обновить существующее поле», выбрать поле «Площадь». В списке функций выбрать «Геометрия» → \$area (выбирается двойным нажатием). Нажать ОК. Параметры заполнения калькулятора полей представлены на рисунке 78.

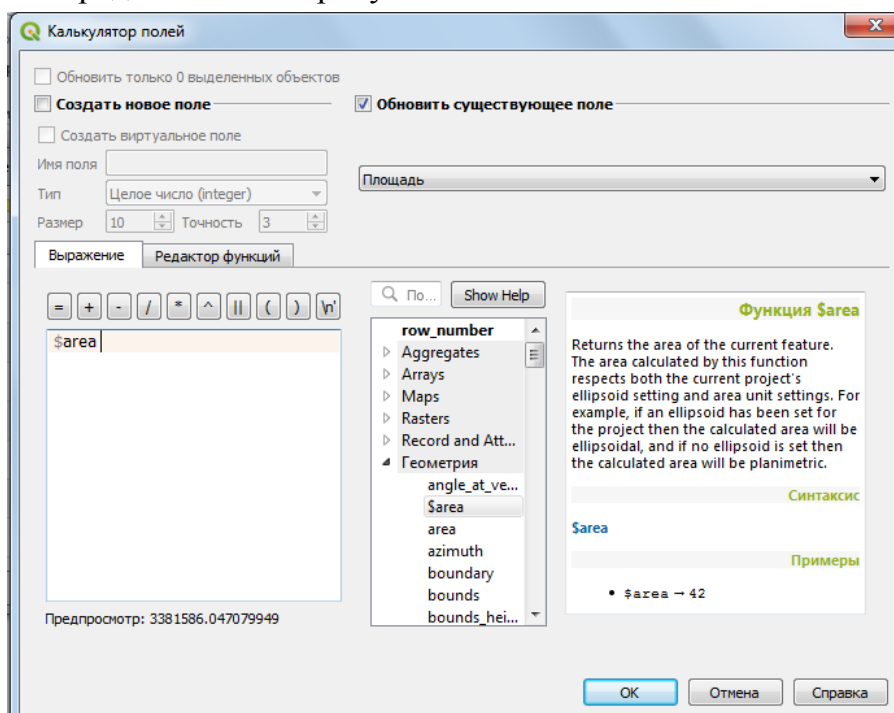


Рис. 78. Параметры калькулятора полей для расчета площади

Таким образом, площадь контуров разномагнитных почв будет вычислена в колонке атрибутивной таблицы (рис. 79).

	DN	диапазон	Площадь
1	1	<1,20	0.048
2	2	1,20-1,30	0.011
3	3	1,30-2,15	0.477
4	4	2,15-4,65	3.382
5	5	4,65-6,00	0.671
6	6	6,00-6,70	0.027
7	7	> 6,70	0.004

Рис. 79. Результаты расчета площадей

Слой «Векторизовано» нужно сохранить под именем `contur_ms`.

Используя инструменты компоновки макета QGIS создается карта площадного распределения объемной магнитной восприимчивости (рис.80).

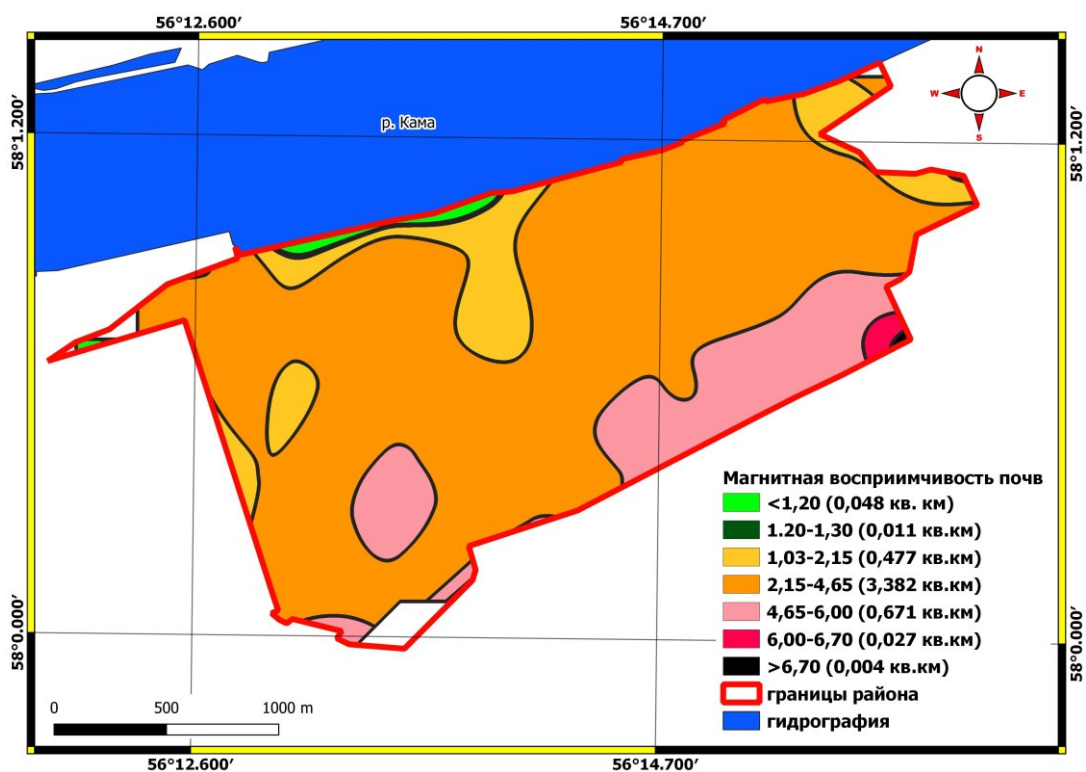


Рис. 80. Ареалы и площади почв с разной объемной магнитной восприимчивостью на территории правобережной части Ленинского района г. Перми

Пример карты с контурами ареалов почв с разной магнитной восприимчивостью показан на рисунке 80. В легенде к карте указаны вычисленные площади ареалов. Площадь почв с магнитной восприимчивостью в интервале от 2,15 до 4, 65x10<sup>-3</sup> СИ составляет 3, 382 кв. км.

### **Вопросы для самостоятельной работы**

1. Что такое магнитная восприимчивость почв?
2. Какие файлы составляют векторный слой в QGIS?
3. Какой шаг измерений объемной магнитной восприимчивости почв будет в масштабе 1:10000?
4. Содержание легенды картосхемы магнитной восприимчивости?
5. Перечислите элементы зарамочного оформления карты.
6. Какая система координат используется в навигационном оборудовании и какой формат слоя применяется?
7. Что из себя представляет наблюдательная площадка для измерений объемной магнитной восприимчивости почв?
8. Что такое пространственная интерполяция?
9. Перечислите основные методы пространственной интерполяции, используемые в почвоведении.
10. Как оценить степень точности пространственной модели магнитной восприимчивости почв в QGIS?
11. Какие статистические показатели можно определить с помощью модуля «Зональная статистика»?
12. Что такое Компоновка карты?
13. Приведите примеры практического использования электронной карты магнитной восприимчивости почв.
14. Как вычислить площади разномагнитных почв на территории магнитометрической съемки?



## Заключение

Навыки выполнения магнитометрической съемки почв урбанизированной территории необходимы для выявления экологических рисков для населения городов, имеющих высокую техногенную и антропогенную нагрузку на окружающую среду. При проведении магнитометрической съемки многие методические вопросы, связанные с маршрутом обследования и выполнением карт, основаны на умении работать в геоинформационных программных продуктах. Картограммы и картосхемы объемной магнитной восприимчивости почв, созданные в результате геоинформационного картографирования, несут информацию о потенциальном загрязнении почв тяжелыми металлами. Создание картографических материалов позволяет оперативно вычислять площади ареалов разномагнитных почв, а также с высокой степенью точности определить величину магнитной восприимчивости почв на территории конкретных жилых, социальных, промышленных и других объектов. Электронные картосхемы отражают пространственные закономерности распределения магнитной восприимчивости почв и поэтому позволяют выделить основные источники техногенной нагрузки на урбозкосистему.

Методика магнитометрической съемки почвенного покрова, описанная в данном учебно-методическом пособии, может применяться для различных территорий не только для картографирования магнитной восприимчивости почв, но и для изучения пространственного распределения тяжелых металлов и других особенностей состава и свойств почв.

## Библиографический список

1. Бабанин В.Ф., Трухин В.И., Карпачевский Л.О., Иванов А.В., Морозов В.В. Магнетизм почв. М.: Ярославль, 1995. 222с.
2. Банк пространственных данных [Электронный ресурс] / <http://spatialdb.net> (14.10.2018).
3. Васильев А.А., Лобанова Е.С. Магнитная и геохимическая оценка почвенного покрова урбанизированных территорий Предуралья на примере города Перми. Пермь: ФГБОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2015. 243 с.
4. Васильев А.А., Чащин А. Н. Тяжелые металлы в почвах города Чусового: оценка и диагностика загрязнения. Пермь: ФГБОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2011. 197 с.
5. Васильев А.А., Лобанова Е.С. Картограмма магнитной восприимчивости почвенного покрова города Перми / Пермский аграрный вестник №3 (3) 2013. С. 24-27.
6. Васильев А.А., Чащин А.Н. Особенности пространственной неоднородности в картографии загрязнения почв тяжелыми металлами // Природообустройство. 2014. № 2. С. 25-29.
7. Гладышева М.Н., Иванов А.В., Строганова М.Н. Выявление ареалов техногенно-загрязненных почв Москвы по их магнитной восприимчивости // Почвоведение. 2007. № 2. С. 235-242.
8. ГОСТ 21667-76 «Картография. Термины и определения», утвержден постановлением Госстандарта СССР 31.03.1976 № 730
9. Документация QGIS 2.0 [Электронный ресурс] / <http://docs.qgis.org/2.0/ru/docs/index.html> (14.10.2018)
10. Интерполяция ближайшей окрестности/ справка ArcGIS for Desktop [Электронный ресурс] /<http://desktop.arcgis.com> (14.10.2018)
11. Как работает инструмент Кригинг (Kriging) / справка ArcGIS for Desktop [Электронный ресурс] /<http://desktop.arcgis.com> (14.10.2018)
12. Методические рекомендации по определению степени загрязнения городских почв и грунтов и проведение инвентаризации территорий требующих рекультивации. М., 2004. 72 с.
13. Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель. Письмо Минприроды России от 09.03.1995 № 25/8-34 // КонсультантПлюс.
14. Модели кригинга / справка ArcGIS for Desktop [Электронный ресурс] /<http://desktop.arcgis.com> (14.10.2018)
15. Мыслова Т.Н., Куцаева О.А. Подлесный А.А. Сравнение эффективности методов интерполяции на основе ГИС для оценки пространственного распределения гумуса в почве // Вестник БГСХА. 2017. С. 146-152.
16. Плавное введение в ГИС (руководств пользователя QGIS). Chief Directorate: Spatial Planning & Information, Department of Land Affairs, Eastern Cape. 2009. 119 с.
17. Почвенное картирование: учебно-методическое пособие / под ред. Б.Ф. Апарина, Г.А. Касаткиной. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2012. 128 с.

18. Равилова Н.Н., Чернова И.Ю. Экспресс контроль уровня загрязнения почв на территории г. Казань // Изменяющаяся геологическая среда: пространственно-временные взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов: Материалы Международной конференции. Казань: Изд-во КГУ, 2007. Т. 1. С. 314-316.
19. Руководство пользователя АРМ «МНОГОЗАДАЧНОЕ КАРТИРОВАНИЕ» версия от 20.12.2016 / АРКТИЧЕСКИЙ И АНТАРКТИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ» (ФГБУ «ААНИИ»), 2016 – 56 с.
20. Ширкин Л.А., Трифонова Т.А., Кошман В.А., Краснощёков А.Н. Оценка техногенной трансформации почвенного покрова с применением анализа магнитной восприимчивости почв // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 5 (3). С. 866-871.
21. Шихов А.Н., Черепанова Е.С., Пьянков С.В. Геоинформационные системы: методы пространственного анализа: учеб. пособие. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2017. 88 с.
22. Bitukova L., Scholger R., Birke M. Magnetic susceptibility as indicators of environmental pollution of soils in Tallinn // Physics and Chemistry of the Earth. Part A. Solid Earth and Geodesy. 1999. Vol. 24. № 9. P. 829-835.
23. Kapička A., Petrovský E. Magnetismus hornin a jeho aplikace při studiu znečištění životního prostředí // Československý časopis pro fyziku. 2004. Vol. 54 (4). P. 240-243.
24. Scholger P., Hanesch M., Scholger R. Mapping of heavy metal loadings in soils by means of magnetic susceptibility measurements // Journal Environ. Geol. 2002. №42. P. 857-870.
25. Spatial variability of cropland lead and its influencing factors: a case study in Shuangliu county, Sichuan province, China / S. Pang, T. X. Li, X. F. Zhang [and all] // Geoderma. 2011. Vol. 162. P. 223-230.

## Карты и схемы МВ почвенного покрова городов

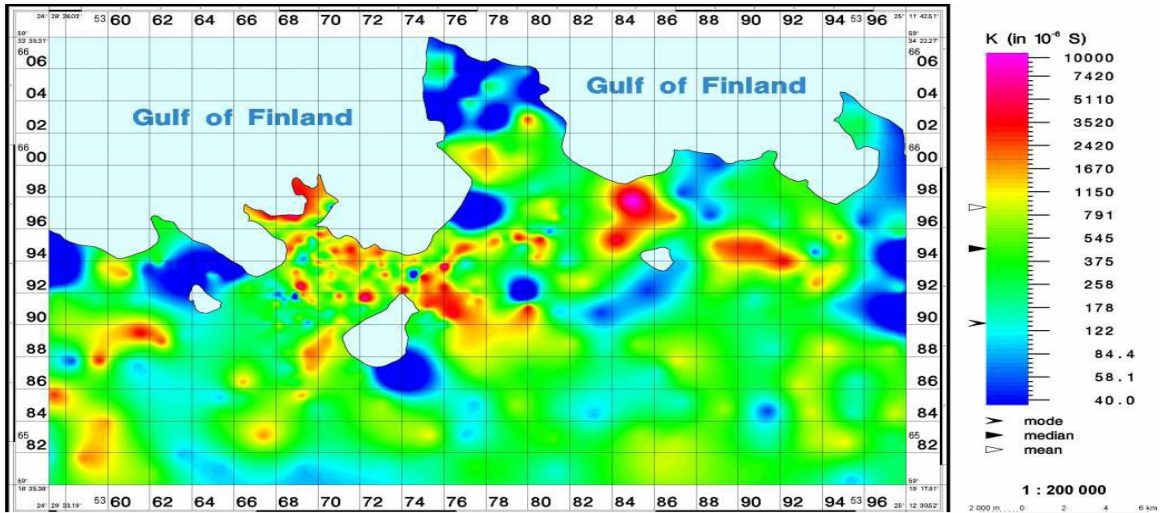


Рисунок 1. Карта магнитной восприимчивости почв г. Таллина [22]

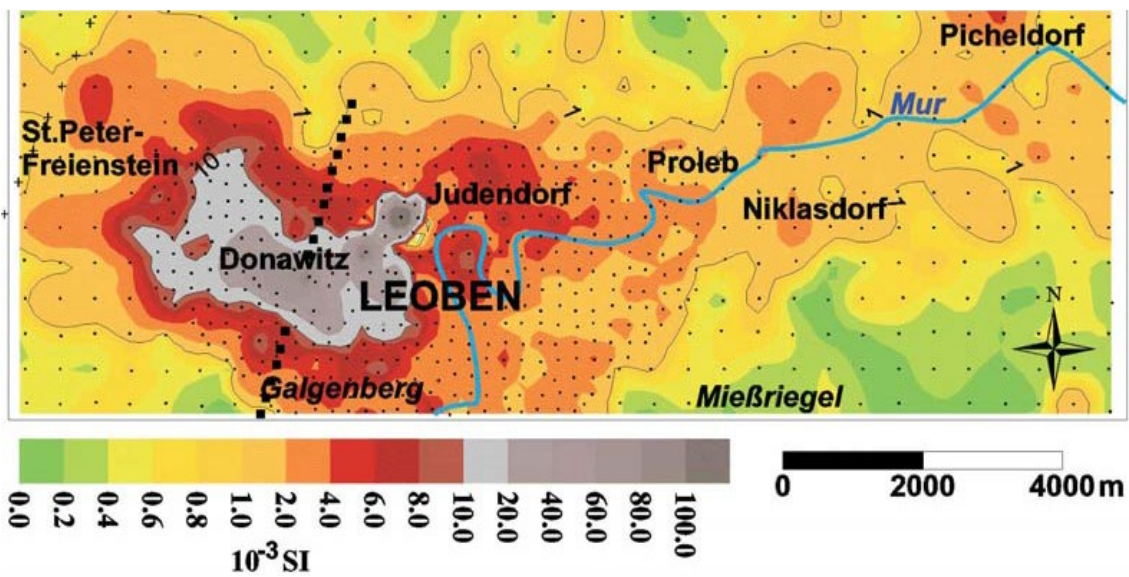


Рисунок 2. Карта магнитной восприимчивости почв в районе г. Леобена [24]

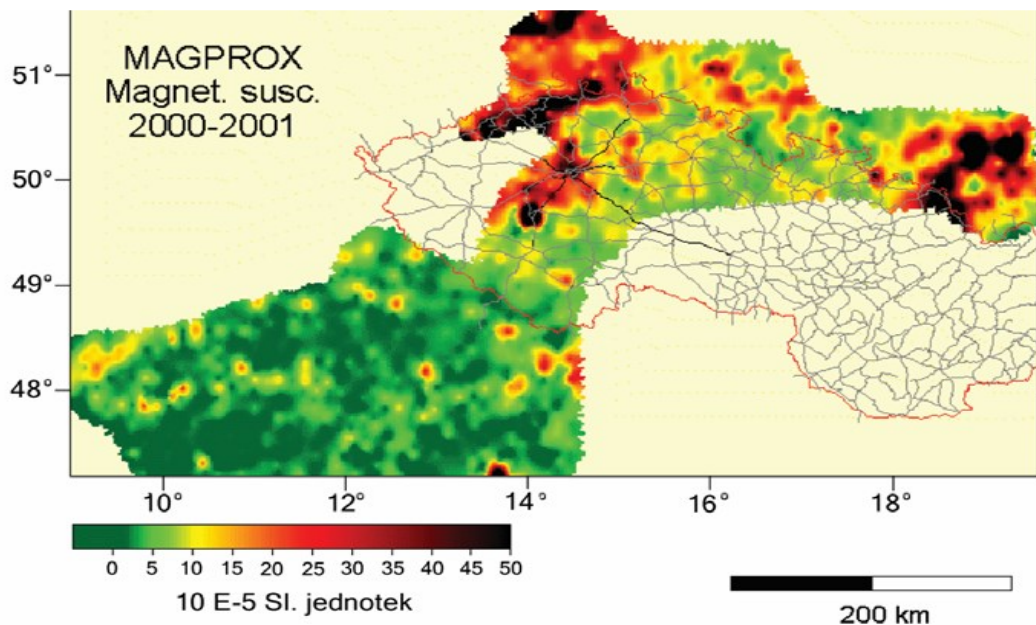


Рисунок 3. Карта магнитной восприимчивости почв территорий Чехии, Германии, Австрии [23]

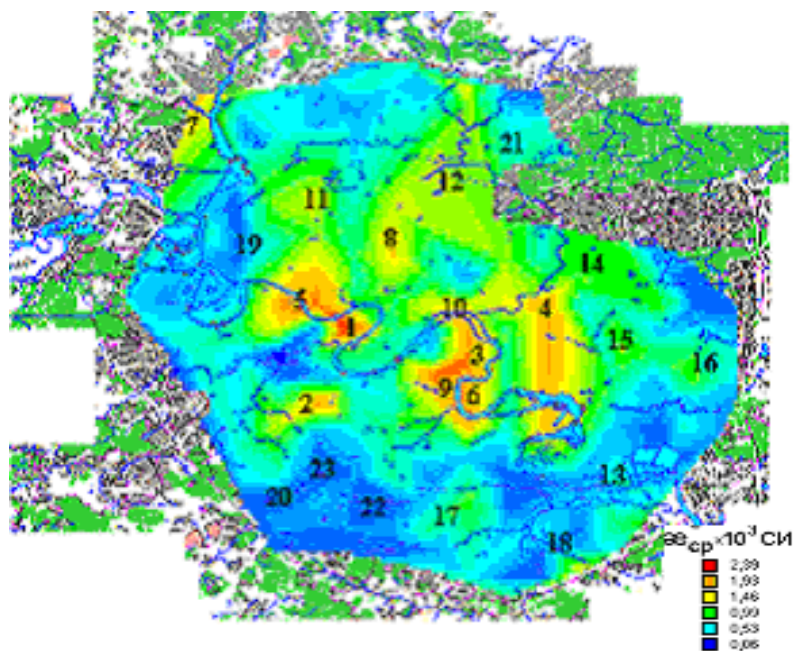


Рисунок 4. Картограмма средних значений магнитной восприимчивости почв Москвы [7]



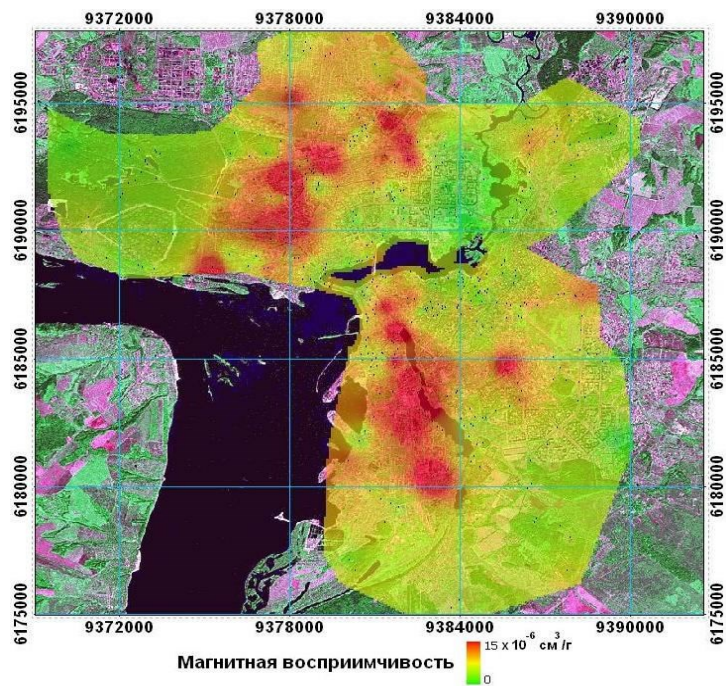


Рисунок 5. Карта магнитной восприимчивости почв г. Казани [18]

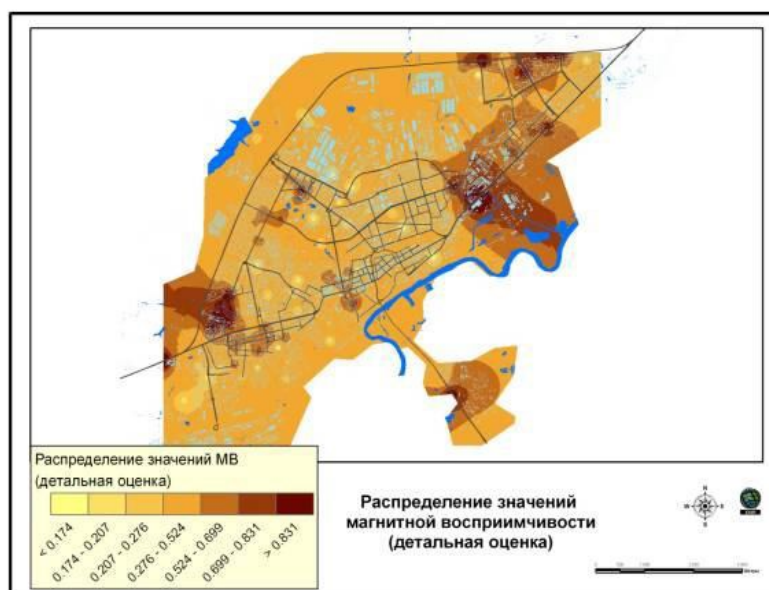


Рисунок 6. Распределение магнитной восприимчивости в почвах г. Владимира [20]

**Учебное издание**

**Васильев** Андрей Алексеевич,  
**Лобанова** Евгения Сергеевна,  
**Чащин** Алексей Николаевич

**МАГНИТОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА ПОЧВ  
УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

Учебно-методическое пособие

Подписано в печать 8. 10.19. Формат 60x84 1/8  
Усл. печ. л. 9,25. Тираж 50 экз. Заказ № 145

*ИПЦ «ПрокростЪ»*

Пермского государственного аграрно-технологического университета  
имени академика Д.Н. Прянишникова,

614990, Россия, Пермь, ул. Петропавловская, 23,  
тел. (342) 217-95-42