

Афонин А.Н., Соколова Ю.В.

**Эколого-географический анализ и моделирование распространения  
биологических объектов с использованием ГИС**

Учебное пособие (Практикум)

УДК 91  
ББК 26.17  
А94

*Одобрено Учебно-методической комиссии Института наук о Земле  
Санкт-Петербургского государственного университета  
21 ноября 2017 года.*

**Афонин А.Н., Соколова Ю.В.**

А94 Эколого-географический анализ и моделирование распространения биологических объектов с использованием ГИС / Учебное пособие (Практикум) / А.Н. Афонин, Ю.В. Соколова — СПб: Изд-во ВВМ, 2018. — 121 с.

ISBN 978-5-9651-1152-7

Первое в России учебное пособие-практикум по активно развивающемуся в мире научно-практическому направлению: эколого-географическое моделирование распространения биообъектов с использованием геоинформационных технологий (environmental niche modelling, species distribution modeling). Описываемое направление актуально для выявления закономерностей и количественного изучения взаимосвязей между организмами и средой их обитания. В практическом отношении технология широко используется при составлении прогнозов распространения вредоносных объектов (вредители, болезни), интродукции и районировании полезных биообъектов. В учебном пособии технология эколого-географического анализа и моделирования описывается в 4 темах, каждая из которых включает концептуальную часть и практикум. Интерактивная версия учебного пособия, опубликованная на электронных носителях и в интернете, содержит ссылку на установку необходимого для работы открытого программного ГИС обеспечения (QGIS). Материалы для заданий можно скачать по ссылкам из интернета. Перекрестные гиперссылки помогают легко ориентироваться в материале и, при необходимости, возвращаться к уже рассмотренным технологиям.

ISBN 978-5-9651-1152-7

© Афонин А.Н., Соколова Ю.В.

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	5
Тема 1. Концепция и логика растрового анализа и моделирования .....	10
Практикум 1. Практический пример растрового анализа и моделирования: куда поедем отдыхать? .....	16
Тема 2. Концепция эколого-географического анализа и моделирования. Ввод данных в ГИС ....	30
2.1. Концепция .....	30
2.2. Ввод данных в ГИС .....	32
Практикум 2. Ввод в ГИС данных о распространении вида .....	33
Практикум 2.1. Ввод в ГИС точечных данных с координатной привязкой .....	33
Практикум 2.2. Ввод в ГИС растровых изображений посредством геопривязки .....	36
Практикум 2.3. Векторизация областей интереса .....	45
Тема 3. Эколого-географический анализ распространения биообъекта.....	51
3.1. Выявление факторов, лимитирующих распространение биообъекта. ....	51
3.2. Оценка экологических амплитуд биообъекта: экстракции значений по маскам объектов..	54
3.2.1. Техника кликинга.....	54
3.2.2. Гистограмма эколого-географической амплитуды вида.....	54
3.2.3. Экстракция значений лимитирующих факторов по экологическим фрагментам границ ареала.....	55
Практикум 3. Выявление экологических факторов, лимитирующих распространение ясеня и оценка его экологических амплитуд .....	57
Практикум 3.1. Выявление экологических факторов среды, лимитирующих распространение ясеня .....	57
Практикум 3.2. Экстракция значений пикселей раstra по векторным полигональным, точечным и линейным объектам и определение пороговых значений экологических факторов .....	65
Практикум 3.3. Оценка экологических амплитуд биообъекта: экстракции значений по экологическим границам ареалов .....	72
Тема 4. Эколого-географическое моделирование распространения биообъектов .....	79
4.1. Эколого-географическое моделирование распространения ясеня .....	79
4.2. Валидация модели распространения ясеня .....	81
Практикум 4. Работа в QGIS – эколого-географическое моделирование распространения ясеня .....	82

Приложение 1. QGIS: общие сведения и установка программы .....	86
Приложение 2. Представление о растровых картах и работе с ними .....	90
Приложение 3. Системы координат и проекции .....	94
Приложение 4. Привязка карты по координатной сетке .....	98
Приложение 5. Экстракция значений растра по точкам (инструмент <i>Point Sampling Tool</i> ).....	106
Приложение 6. Способы представления пространственных объектов в ГИС .....	110
Приложение 7. Ссылки на полезные ресурсы .....	112
Приложение 8. Материалы для выполнения заданий практикумов.....	113

## ВВЕДЕНИЕ

Распространение видов, как и сообществ живых организмов, в значительной степени определяется их экологическими потребностями и особенностями пространственного распределения важнейших лимитирующих их распространение факторов среды по земной поверхности. Основными зональными экологическими факторами, лимитирующими распространение биологических объектов, являются, прежде всего, климатические факторы среды: температура, свет, влажность. Глобальное распределение этих факторов строго определено физико-географическими особенностями – углом падения солнечных лучей на земную поверхность, динамикой воздушных масс, географией океанических течений, конфигурацией и размерами континентов, океанов и крупнейших горных цепей...

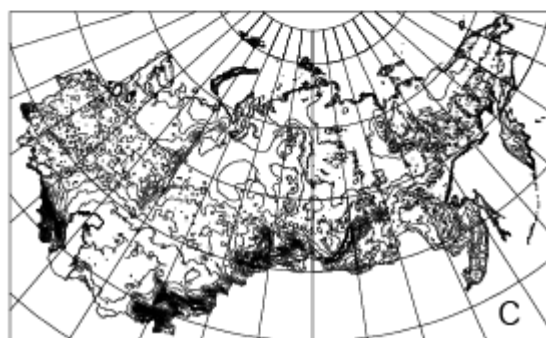
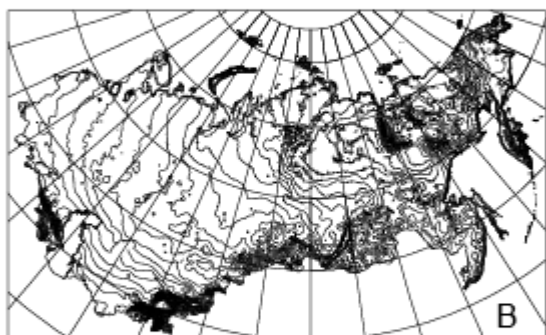
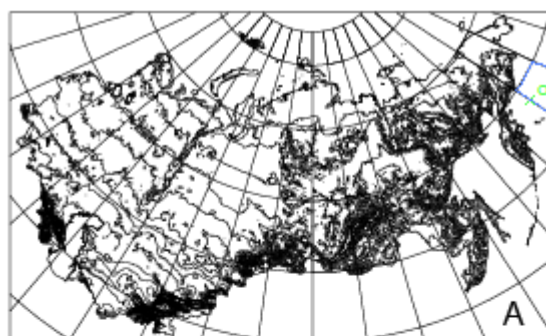


Рис. 1. Конфигурация градиентов основных экологических факторов среды, лимитирующих распространение биологических объектов в Северной Евразии

А – суммы активных температур за вегетационный период; В – средние температуры самого холодного месяца; С – сумма осадков за год

Градиент распределения количества тепла, получаемого территорией за вегетационный период, имеет для равнинных территорий четкое направление с севера на юг (рис.1а). Генеральное направление градиента связано с широтной обусловленностью угла падения солнечных лучей на земную поверхность, определяющим степень ее прогрева.

Средние температуры самого холодного месяца понижаются в Северной Евразии в направлении с запада на восток (рис.1б). Это связано с ростом континентальности, обусловленным уменьшением воздействия на климат теплого атлантического течения при движении по матерiku в восточном направлении.

Зональность распределения осадков менее четко выражена, но и их выпадение определяется физико-географическими законами, распределено по градиенту и характеризуется стабильностью и однородностью на обширных территориях (рис.1с).

Значительная азональность и пестрота распределения экологических факторов характерна

для обширных горных районов. Тем не менее перераспределение экологических факторов, связанное с высотой над уровнем моря и особенностями рельефа, как на мезо- так и на микроуровне, характеризуется определенными закономерностями и является сравнительно стабильным, что позволяет видам и сообществам

живых организмов адаптироваться к региональным экологическим особенностям горных территорий и создавать в них ареалы и ценозы, характеризующиеся устойчивыми границами.

*Изолинии экологических факторов среды служат теми лекалами, по которым в соответствии с экологическими потребностями видов и сообществ живых организмов кроются границы их ареалов и зон распространения.*

### **Истоки и история направления**

Информация о связи распространения организмов с условиями среды заложена у животных и человека на уровне инстинктивных знаний. Первые научные труды, рассматривающие связь распространения организмов с условиями среды, относятся еще к временам античности. Не случайно, что приурочены они к эпохе выхода европейцев за пределы Ойкумены – периоду завоевательных походов Александра Македонского. Именно тогда были получены новые знания о географии, климате, мире растений и животных ранее неизвестных обширных земель, проведен анализ полученных фактов и сделаны первые обобщения.

Теофраст (370 – 285 до н.э.) считается основоположником ботанической географии. В его трудах встречаются многочисленные наблюдения за эколого-географическими особенностями растений: "... плющ не смог прижиться, как другие растения вывезенные из Эллады. Вавилонская земля не принимает его по причине своего климата; неохотно принимает она и самшит, липу: садовники бьются и с ними. Но есть деревья и кусты, которые растут только там".

Последующие экспансии и великие географические открытия приводили к накоплению знаний о распространении биообъектов и их связи с условиями среды.

Александр фон Гумбольдт (1769-1859) – выдвинул идею о связи растительности с климатом и положил ее в основу ботанической географии. Им определены фундаментальные экологические факторы, влияющие на распространение растений – температура, влажность. Составлены первые температурные карты и проведен анализ связи границ распространения растительных таксонов с количественными зональными температурными характеристиками.

Старт инструментальных перманентных наблюдений за состоянием среды и прежде всего за погодой и климатом явился предпосылкой создания климатических карт и количественной оценки связи распространения биообъектов с факторами среды. Считается, что первый термометр был изобретен Галилеем в конце 16 века. Прибор для измерения температуры совершенствовался в течении 17 – начала 18 века и приобрел современный вид в 1723 году после работ Фаренгейта. 100-градусную шкалу градуированную от точки замерзания воды до ее кипения предложил Андерс Цельсий в 1742 году. Первая сеть метеонаблюдений была организована по указу герцога Тосканского Леопольдо Медичи в 1654 году. Сеть включала 9 метеостанций и работала до 1667 года. В дальнейшем сети метеостанций возникали и закрывались в различных странах. Постояннодействующая всемирная сеть метеостанций была создана во второй половине 19 века.

Создание первых карт климатических факторов сразу же привело к выявлению факта совпадения границ распространения видов с изолиниями факторов среды.

Во второй половине 19 века возникла и сформировалась наука экология. Впервые термин экология ввел Эрнст Геккель в 1866 году. Он обозначил этим термином науку, изучающую взаимоотношения живой и неживой природы. Еще ранее был сформулирован закон

лимитирующего фактора (Либих, 1840), позднее введено понятие экологической амплитуды вида (Шелфорд, 1913).

Майр (1909) является автором метода климатических аналогов. Он рассмотрел дендрологические зоны в связи с особенностями климата, выделяя климат пальм, лавра, каштана, бука, хвойных, лесов и предложил проводить интродукцию растений с учетом выявленных лесорастительных зон. При этом следует отметить, что понятия пояс оливы, винограда, каштана использовались еще Артуром Юнгом в начале 19 века.

---

Современное направление эколого-географического моделирования ниш концептуально базируется на определении экологической ниши, данной Г. Хатчинсоном (Hutchinson, G.E., 1957) в соответствии с которым экологическая ниша вида представляет собой часть воображаемого многомерного экологического пространства, по координатным осям которого отложены диапазоны отдельных экологических факторов, соответствующие границам экологических амплитуд вида, совокупность проекций которых в многомерное пространство экологических факторов формирует гиперобъем условий среды, в пределах которого вид способен существовать.

Практическая реализация данной концепции для решения задач эколого-географического моделирования распространения биообъектов стала возможной с появлением персональной компьютерной техники, созданием компьютерных растровых карт экологических факторов среды и геоинформационного программного обеспечения, позволяющего производить с этими картами математические операции, в частности, такие как алгебраические расчеты по растрам и экстракции значений с экологических карт в границах областей интереса, которыми могут являться ареалы видов.

Технологии эколого-географического моделирования позволяют с высокой степенью точности прогнозировать и картировать территории распространения биологических объектов, основываясь на знании экологических амплитуд видов и сообществ сопоставленных с известным пространственным распределением экологических факторов среды.

Начало современного этапа практических работ в области эколого-географического анализа и моделирования ниш следует отнести к 1986 году, когда вышли первые публикации, описывающие и реализующие метод эколого-географического моделирования распространения биологических объектов, использующий компьютерные геоинформационные технологии. Приоритет в работах по данному направлению принадлежит Н. Нix, как создателю концепции и руководителю работ по созданию самой первой системы моделирования ниш - Bioclim (Nix H., 1986), ставшей доступной для пользователей в январе 1984.

Классическим примером решения прикладной задачи из сферы биогеографии посредством эколого-географического моделирования ниш может служить история выявления территорий пригодных для возделывания плантаций эвкалипта. Задача решалась австралийскими учеными в 1980-е начале 1990-х годов. Возможность ее эффективного решения на тот момент была обусловлена появлением и довольно широким распространением: персональной компьютерной техники; геоинформационных программ, позволяющих проводить конвертное моделирование(envelop modelling, bioclimatic envelope); методик составления компьютерных карт

экологических факторов среды. Были определены факторы, лимитирующие распространение видов эвкалипта. В качестве экологических предикторов использовались шесть климатических элементов: среднегодовое количество осадков, характер выпадения осадков (равномерное или сезонное), продолжительность сухого периода, средние температуры самого холодного и жаркого месяца, средняя годовая температура. По каждому экологическому предиктору были составлены растровые компьютерные карты на территорию Австралии и тропическую область Земного шара. Составлялись они по специально разработанной процедуре. В компьютерную базу были введены также карты ареалов произрастания видов эвкалиптов на территории Австралии. Сопоставление карт ареалов и карт факторов среды, лимитирующих их распространение, проводилось посредством специально созданного программного обеспечения. Программа позволяла снимать численные значения экологических факторов с каждой клетки раstra экологической карты в пределах территорий, для которых было установлено, что вид на них встречается. Это позволило рассчитать экологические амплитуды вида по отношению к каждому значимому фактору среды. Далее, на экологической карте по каждому предиктору выделяли территорию, экологически пригодную для произрастания вида по данному фактору. Затем объединяли карты экологически пригодных территорий по всем предикторам и выдавали обобщенную растровую карту территории, потенциально пригодной для произрастания вида по всей сумме предикторов – то есть выделялись только те клетки раstra, в пределах которых произрастание вида оказывалось возможным по всему комплексу учитываемых факторов.

Сходный концепт лежит в основе многих современных технологий моделирования распространения видов, сортов и сообществ живых организмов, базирующихся на эколого-географическом принципе.

Важной вехой на пути актуализации направления моделирования ниш, значительно расширившей круг пользователей, стало создание открытой базы данных, включающей мировые карты основных экологических факторов среды (Hijmans R.J., et al., 2005). База данных была представлена в интернете в рамках проекта WorldClim - <http://www.worldclim.org/>. База включает слои среднемесячных значений минимальных, средних и максимальных температур, осадков, а также карты экологических предикторов, использованных в ранней системе BioClim. Карты растровые, пространственное разрешение карт от 10 минут до 30 секунд земной дуги. Карты представлены в открытых геоинформационных форматах. Этот набор карт в дальнейшем стал стандартом де-факто при проведении эколого-географического моделирования, и с его использованием проведено экологическое моделирование большого количества объектов.

Увеличению количества работ в области эколого-географического анализа и моделирования способствовало также появление и развитие открытых пополняемых баз данных, содержащих информацию по географии биообъектов. Крупнейшей базой распространения биообъектов на сегодняшний день является Global Biodiversity Information Facility (GBIF, - <http://www.gbif.org/>). На январь 2017 года в GBIF представлена и доступна для скачивания информация о распространении 1643948 видов в объеме более 704 миллионов координатных точек.

Вслед за самой первой системой эколого-географического моделирования – BioClim (1986), были созданы системы эколого-географического анализа и моделирования FloraMap (1999), DIVA-GIS (2005) и другие – отличающиеся базами данных или программным обеспечением и алгоритмами, используемыми для проведения моделирования. Первой отечественной системой,



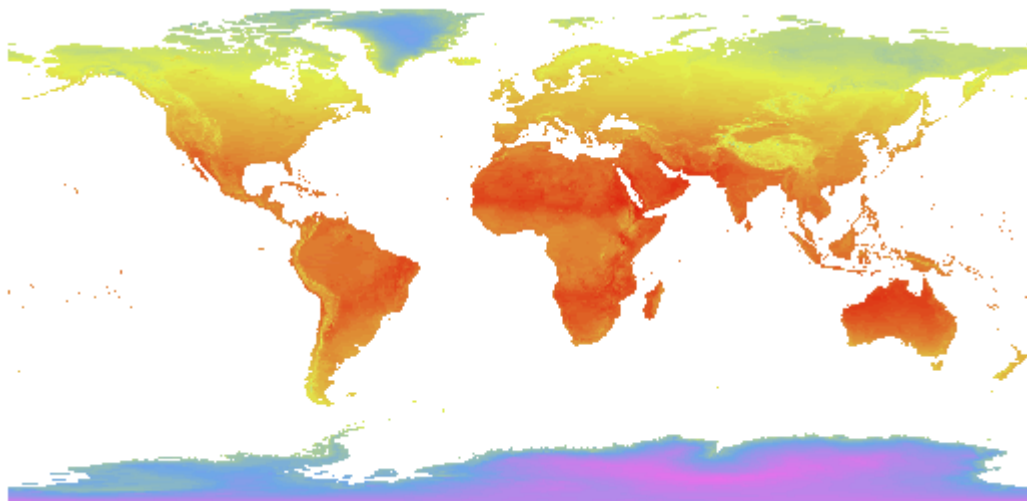
позволяющей проводить эколого-географический анализ и моделирование ниш и включающей собственный набор экологических карт и карт биологических объектов в открытом ГИС формате, а также программное ГИС обеспечение для работы с ними, стал Агроатлас (2008) - <http://www.agroatlas.ru/ru/index.html>

В настоящее время технологии эколого-географического анализа и моделирования распространения биообъектов широко используются во всем мире и являются базовыми в сельскохозяйственных и лесохозяйственных исследованиях при проведении работ по районированию сортов, пород деревьев и зон семеноводства, в работе санитарных и карантинных служб при составлении прогнозов распространения вредных объектов. Новые технологии также дали мощный импульс для проведения дальнейших фундаментальных научных исследований связанных с поиском закономерностей распределения биологических объектов и их разнообразия в связи с пространственным распределением экологических факторов среды.

## Тема 1. Концепция и логика растрового анализа и моделирования

### Куда поедем отдыхать?

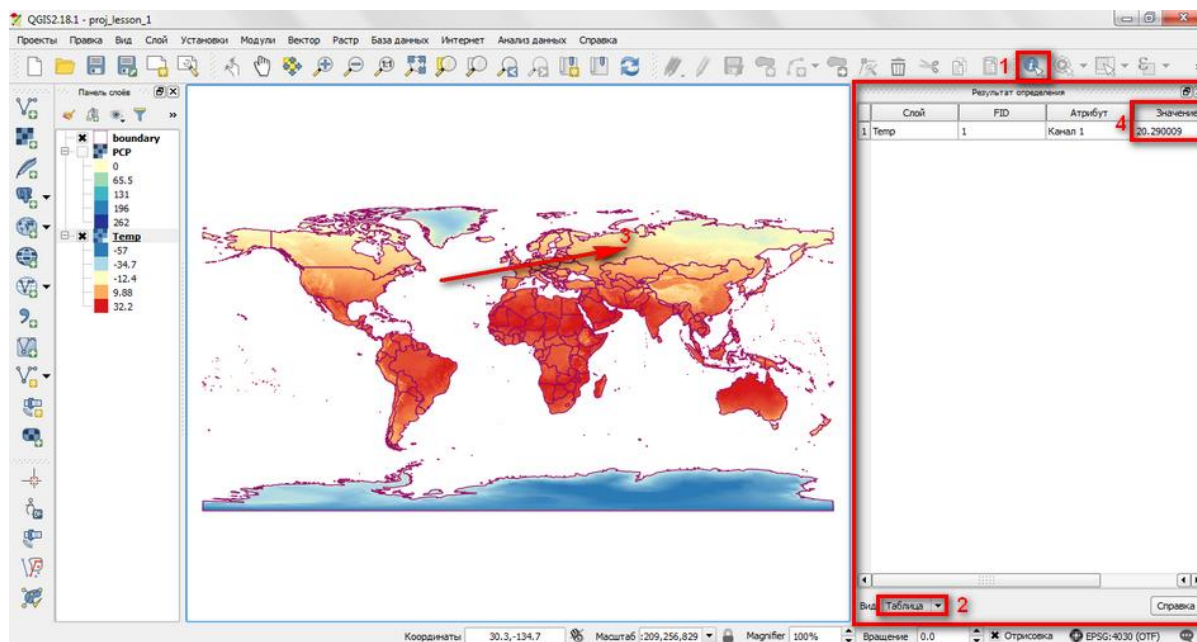
Осенний отпуск. За окном холодный октябрь и хочется уехать туда, где тепло, где на солнце зреют экзотические фрукты и люди ходят не в пуховиках, а в шортах... - Куда именно? В нашем распоряжении есть [карты температур](#) на весь Земной шар, которые позволяют выбрать территории подходящие для отдыха в задаваемом диапазоне температур. Так выглядит в геоинформационной программе (ГИС) карта октябрьских температур. -



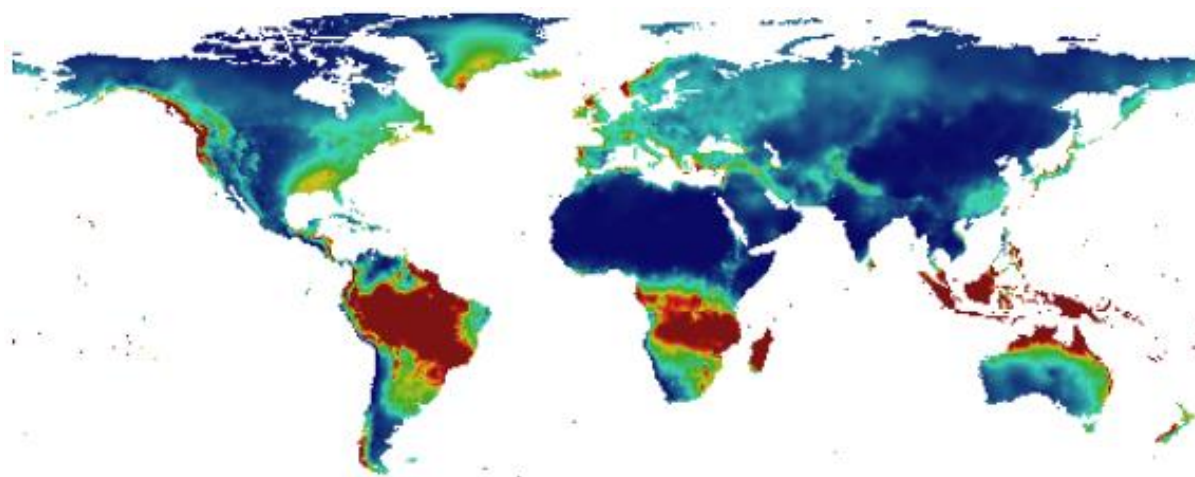
В ГИС ее можно увеличивать и уменьшать. При увеличении видно, что климатическая карта представляют собой растр ([см. приложение 2](#)), каждая клетка которого несет информацию о температуре.



Температуру в любой клетке карты можно узнать, кликнув на карту пиксельной пипеткой.

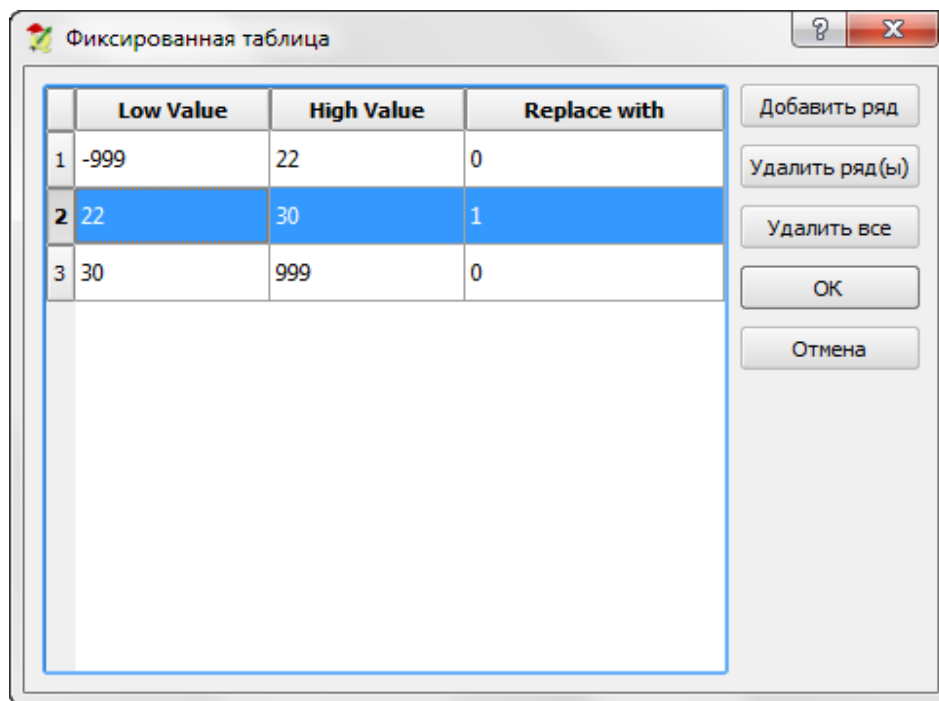


Подходящую для отдыха страну по температурному фактору можно выбрать, ориентируясь по цвету и уточняя температуру места пиксельной пипеткой. Выбирать место отдыха можно не только по карте температур, но и осадков. Представьте, что Вы попали в жаркую страну, в которой ежедневно льет дождь!... Карта октябрьских осадков также есть в нашем распоряжении и с ней можно работать, как и с картой температур.



Скажем, что в дождливом Питере и туманном Лондоне летом выпадает за месяц примерно 60 мм осадков, а в солнечной Барселоне порядка 30 мм. Можно наложить слой осадков на слой температур и поочередно снимать пиксельной пипеткой значения температур или осадков, активируя тот или иной слой. Так можно выбрать точки, подходящие одновременно по температурам и осадкам. - А можно ли сразу выбрать ВСЕ территории, пригодные одновременно и по температурам и по осадкам? – В ГИС это можно!

В ГИС имеются инструменты растровой алгебры: реклассификаторы и калькуляторы растров. Реклассификатор позволяет отобрать все клетки растра в диапазоне заданных значений. Например, нас интересуют только территории с температурами не ниже 22 и не выше 30 градусов. – Вносим соответствующие значения в реклассификатор. Тому диапазону значений, что нас устраивает, присваиваем единицы, не устраивающим диапазонам – ниже 22 и выше 30 – присваиваем нули:



Логика реклассификации выглядит следующим образом:

# Реклассификация

РАСТР ИСХОДНЫЙ

3	4	5
5	5	4
3	12	8

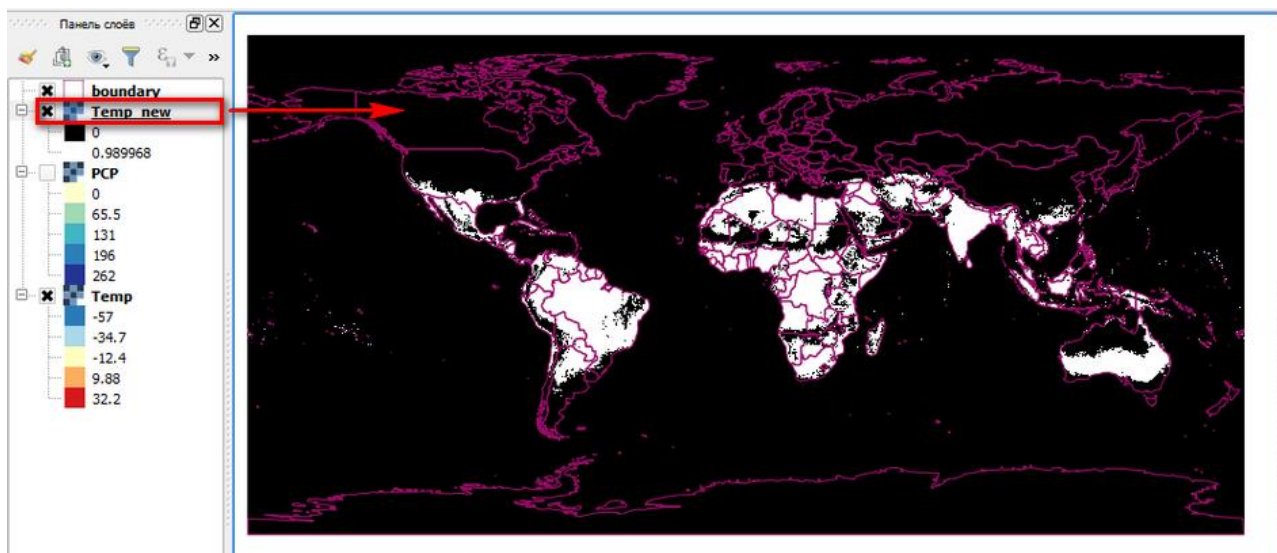
"0" = от 0 до 4

"1" = от 5 до 10

РАСТР ИТОГОВЫЙ

0	0	1
1	1	0
0	12	1

В соответствии с представленной логикой программа просматривает температурную карту и для каждой клетки раstra на место значений в диапазоне от 22 до 30 ставит единицы, а всем остальным значениям присваивает нули. На производной карте, по заданным нами условиям представлены только единицы и нули. Единицы – то, что нам подходит, нули – нет. Выбираем палитру, которая представляет каждое числовое значение в различающемся цвете. Теперь пригодные и непригодные территории становятся визуально четко различимыми. - Территории, пригодные по октябрьской температуре, диапазон t 22-30С представлены на карте белым цветом:



Таким же способом отбираем и пригодный для нас диапазон осадков, например, от 0 до 30 мм.

Фиксированная таблица

	Low Value	High Value	Replace with
1	-9999	0	0
2	0	30	1
3	30	9999	0

Добавить ряд

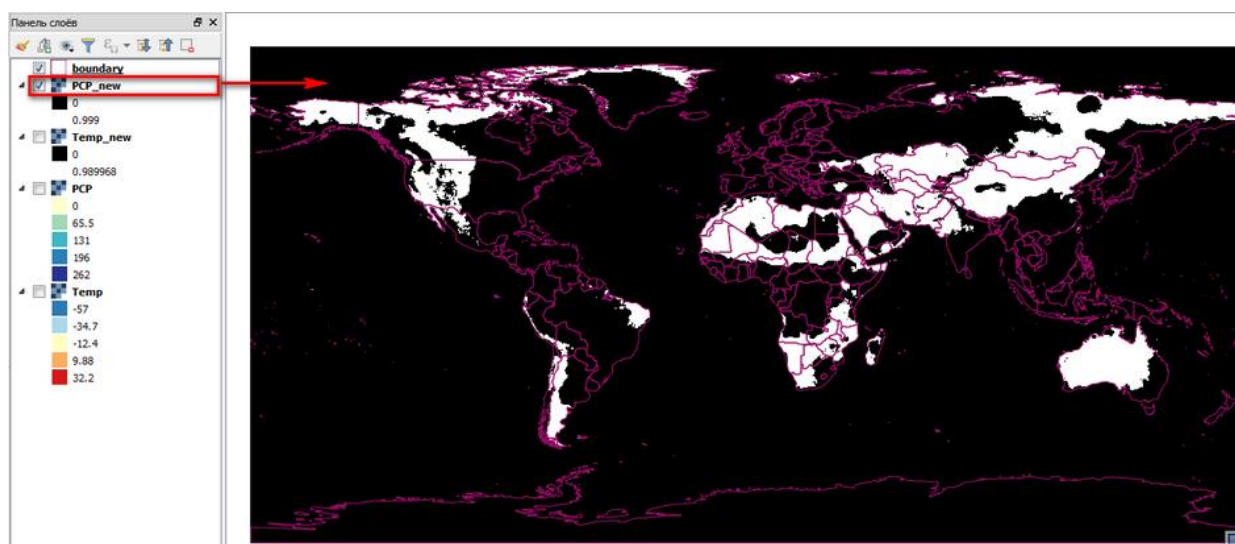
Удалить ряд(ы)

Удалить все

ОК

Отмена

Результат реклассификации по осадкам:



Территории, пригодные по осадкам в диапазоне 0-30мм показаны белым цветом, непригодные - черным.

Накладываем друг на друга обе карты территорий пригодных по температурам и осадкам. Можно подключать и отключать в чекбоксе видимость верхнего слоя («мигать» слоями) и этим визуально определять отдельные территории, пригодные одновременно и по температурам, и по осадкам. Но можно и сразу выполнить действие, которое позволит выделить пригодные по обоим факторам клетки раstra и представить их на одной карте. Для этого используем калькулятор растров. Он позволяет проводить арифметические действия с растрами: складывать, вычитать, умножать и делить их друг на друга. Растровые карты – это цифровые матрицы. Выполнение арифметических действий с матрицами аналогично выполнению действий с отдельными числами - например, при сложении растровых карт значения в каждой из пространственно соответствующих клеток растров складывается друг с другом:

Сложение

РАСТР 1

2	4	1
3	0	1
3	5	2

+

РАСТР 2

1	0	4
2	5	3
0	7	6

=

СУММА РАСТРОВ

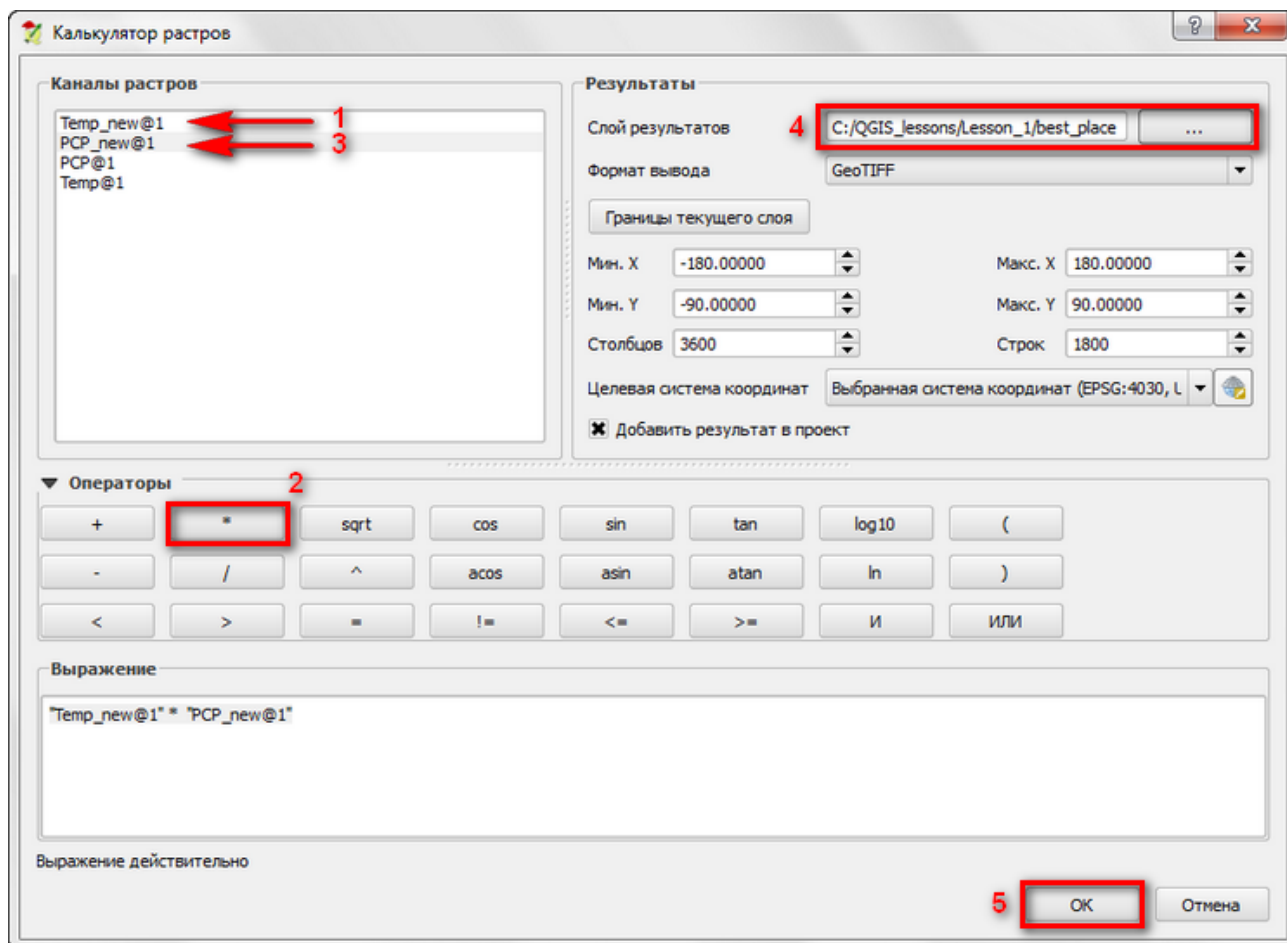
3	4	5
5	5	4
3	12	8

У нас есть карты отобранных диапазонов температур и осадков, представленные в значениях 0 и 1. Единицы – подходят, нули – нет. В случае, если территория в ячейке раstra пригодна по температурам, но количество осадков в ней нас не устраивает, - считаем, что вся территория ячейки нас не устраивает. Для нас пригодны только территории, устраивающие нас одновременно и по значениям температур, и осадков. Получить такую карту мы можем перемножением карт отобранных диапазонов.

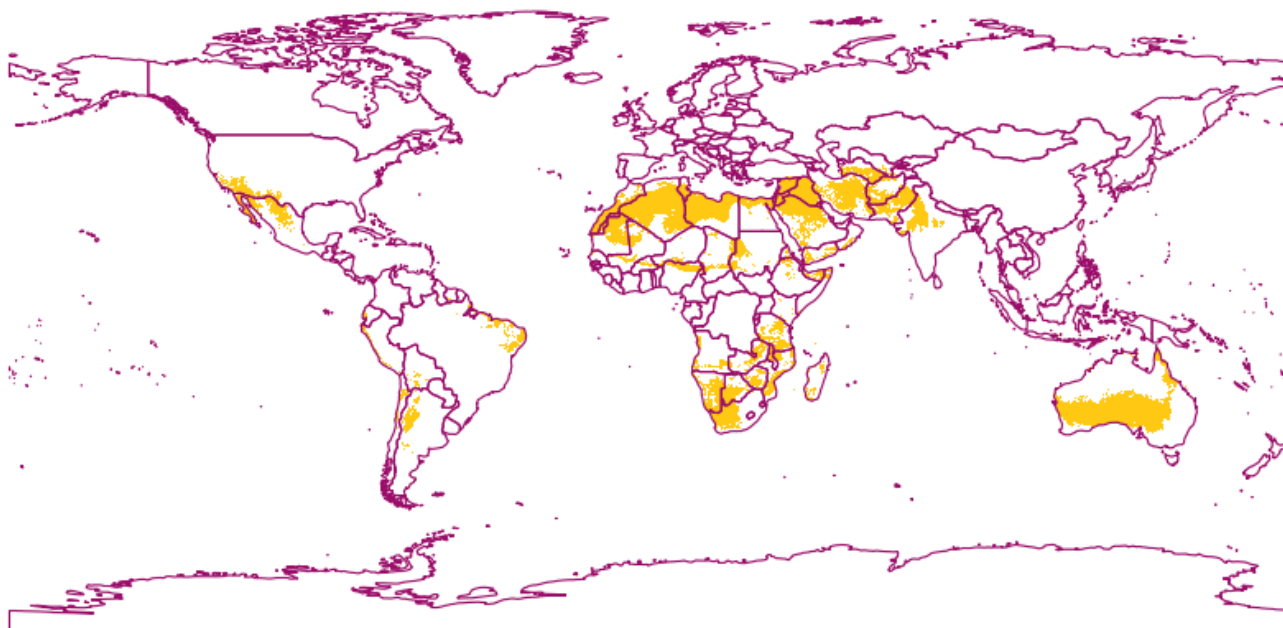
Перемножение  $0 \times 0 = 0$ ,  $0 \times 1 = 0$  и  $1 \times 0 = 0$  и только перемножение  $1 \times 1 = 1$

В интерфейсе реальной ГИС программы перемножение выглядит следующим образом:





Таким образом мы получаем территорию, устраивающую нас для отдыха в октябре. Территории, пригодные одновременно по температурам и осадкам, показаны желтым цветом, непригодные по какому-либо из факторов или одновременно по обоим - белым.



Подходящие для нашего отдыха территории находятся в Мексике и на юге США, в северной и южной Африке, Саудовской Аравии, Иране, Пакистане, Индии, на юге Австралии...

Понятно, что аналогичная процедура может быть использована не только для выбора мест для отдыха, но также при экологическом моделировании и прогнозе территорий, пригодных для проникновения и существования на них тех или иных объектов, как вредных, так и полезных.

## Практикум 1. Практический пример растрового анализа и моделирования: куда поедем отдыхать?

### Задание:

выбор территорий, благоприятных для проведения отпуска, по заданным диапазонам значений климатических факторов.

### Материалы для выполнения задания ([скачать](#)) ([см. Приложение 8](#)):

- Растровый слой средних температур за октябрь: *Temp.tif*
- Растровый слой среднееголетних сумм осадков за октябрь: *PCP.tif*
- Векторный слой государственных границ: *boundary.shp* (+\*.shx, \*.dbf, \*.prj) (взят с сайта <http://www.naturalearthdata.com>; оригинальное название слоя *ne\_50m\_admin\_0\_countries*)

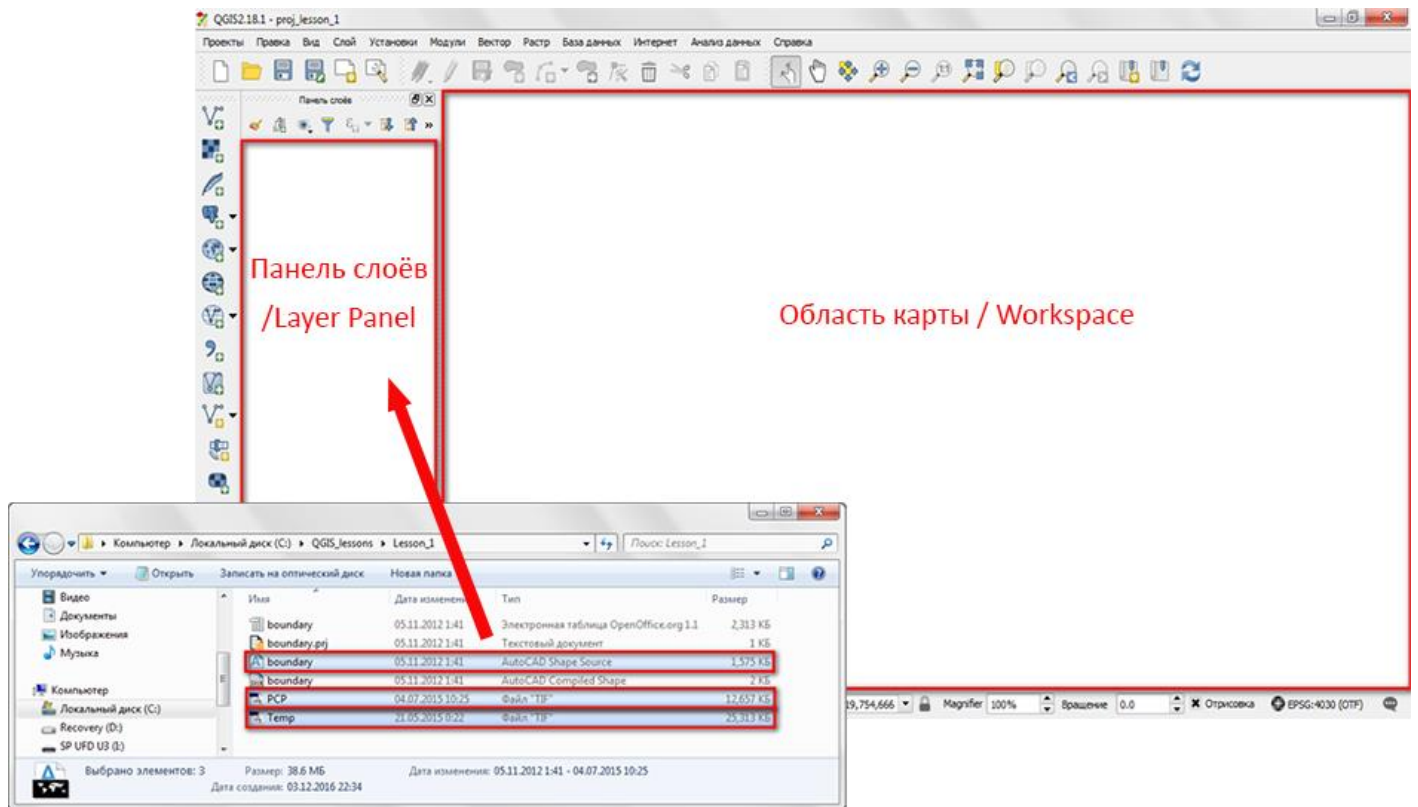
*Примечание.* Векторный файл хранится в стандартном формате Esri Shape, который состоит из 4-х файлов \*.shp, \*.shx, \*.dbf, \*.prj (где \* - имя файла). Для того, чтобы открыть векторный слой в программе QGIS, достаточно перенести в панель слоев программы только один из этих файлов, имеющий расширение. shp. О форматах ГИС файлов [см. Приложение 6](#). Ссылки на другие полезные сайты, с которых могут быть получены карты и материалы для эколого-географического анализа и моделирования, приведены [в приложении 7](#).

### Работа в QGIS

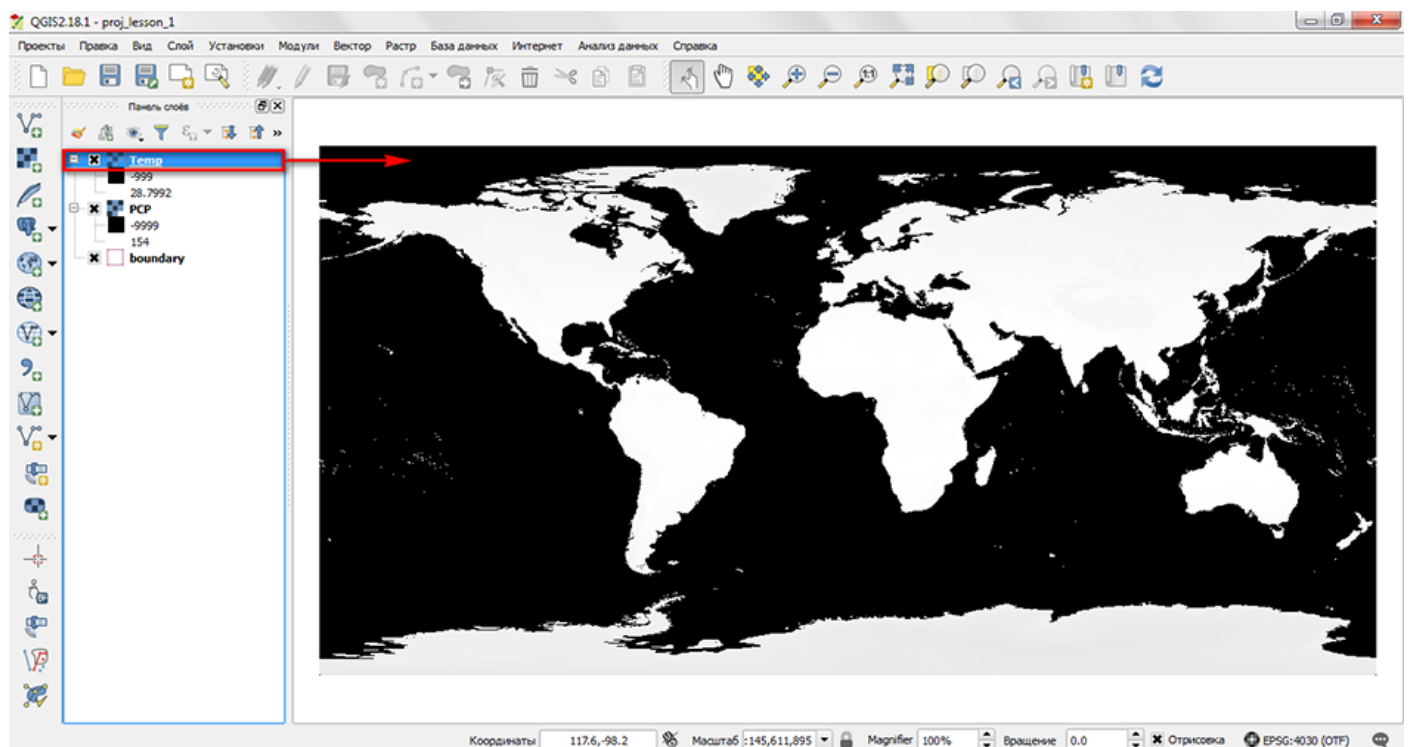
Запускаем программу QGIS (QGIS Desktop with GRASS).

Из рабочей папки на вашем персональном компьютере по очереди, либо все вместе, (выбираем нужные нам файлы через зажатую клавишу **ctrl**) перетаскиваем мышкой файлы *Temp.tif*, *PCP.tif*, *boundary.shp* на **Панель слоёв (Layers Panel)** программы QGIS.





Слои появятся на панели в произвольном порядке, а в **Области карты** будет отображаться первый слой. В нашем случае это слой *Temp*.

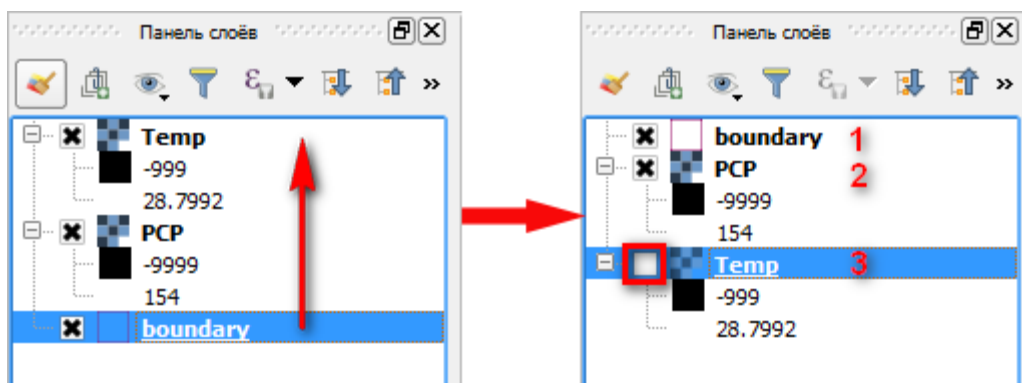


Поменяем порядок слоёв. Для этого выделяем слой на **Панели слоёв** и перетаскиваем его вверх или вниз, удерживая левую кнопку мыши. В итоге, слои должны идти в следующем порядке:

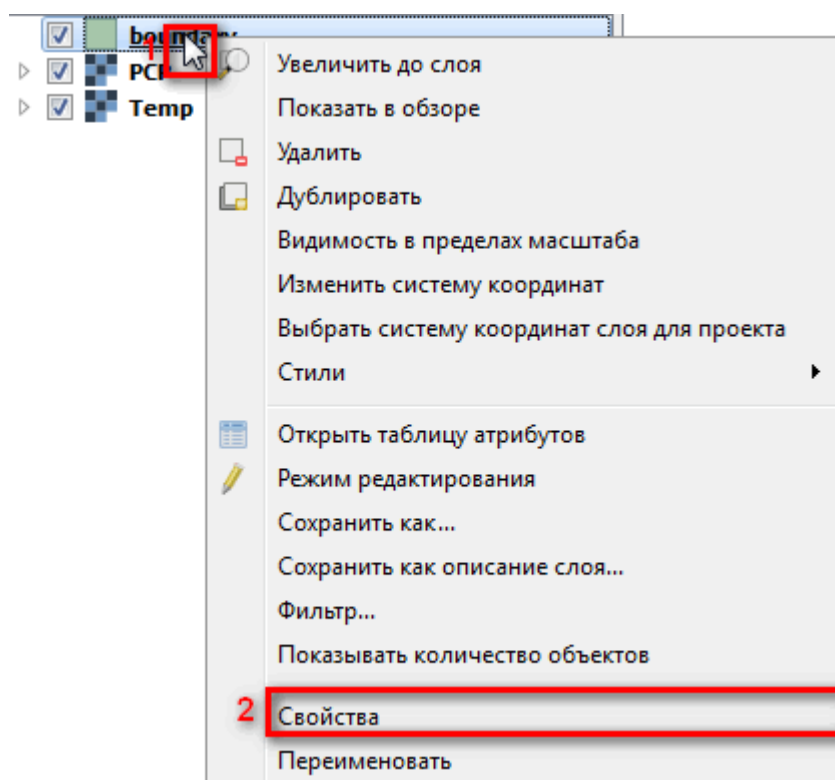
- boundary

- PCP
- Temp

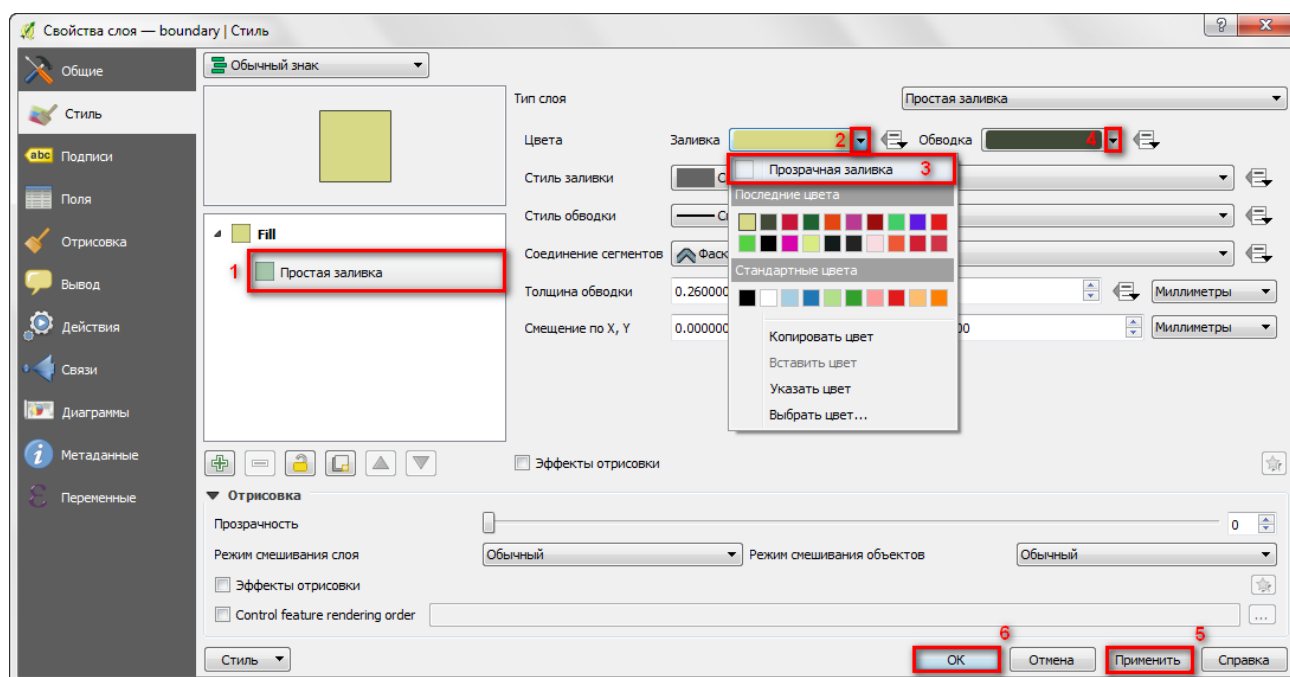
Для удобства, на время работы со слоем *PCP*, деактивируем слой *Temp*, убрав крестик, кликнув на чекбокс, расположенный слева от него.



Стиль слоя *boundary* необходимо настроить: оставить только границы стран, а внутреннюю заливку полигонов убрать. Для этого правой кнопкой мыши нажмите по слою (1) и выберите из появившегося списка пункт **Свойства** (2).

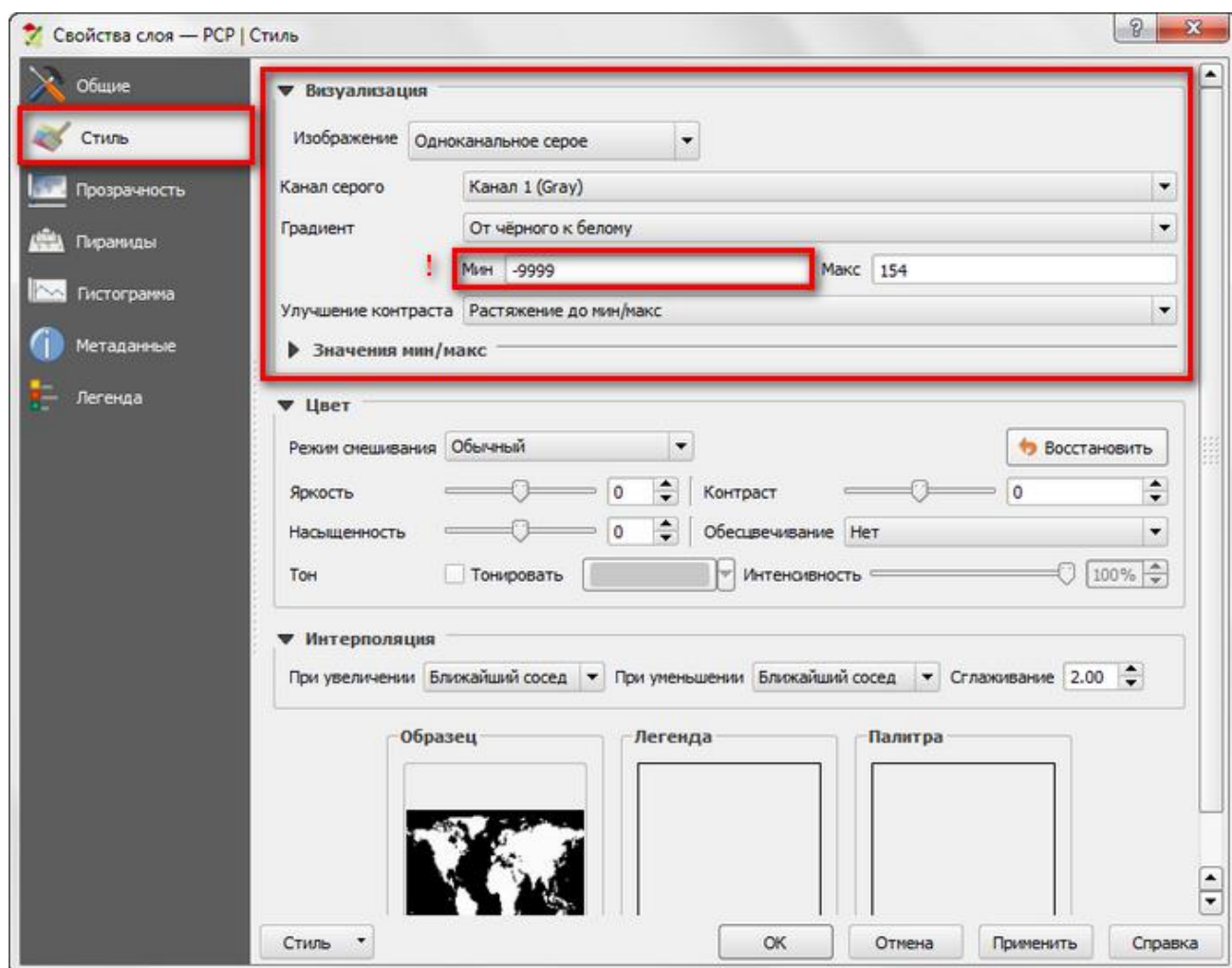


В появившемся диалоге перейдите на вкладку **Стиль**. Под изображением условного знака в дереве слоёв выделите **Простая заливка 2**(1). Справа появятся настройки условного знака. Для пункта **Заливка** (2) выберите **Прозрачная заливка** (3). Для пункта **Обводка** (4) выберите любой другой цвет. **Применить** (5). **Ок** (6).



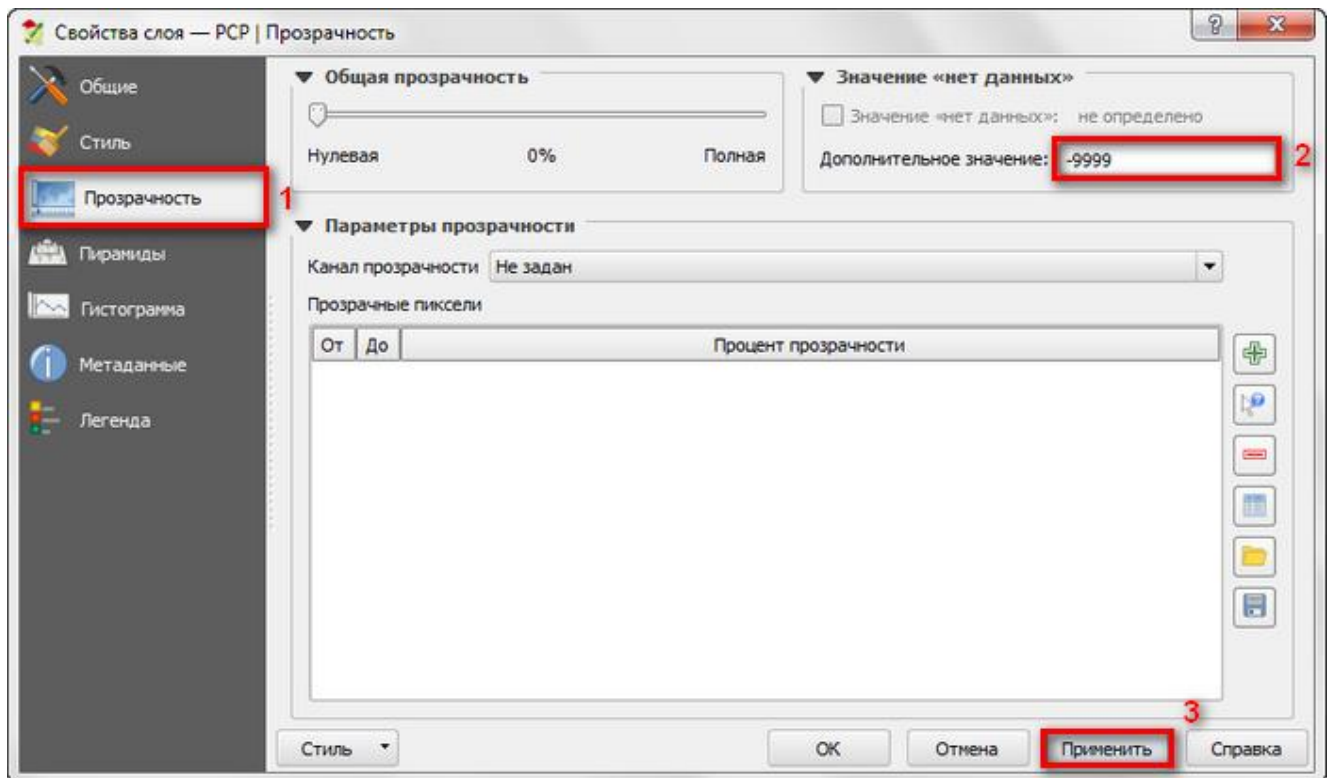
Теперь необходимо настроить отображение растров. Сейчас растры отображаются в чёрно-белой палитре.

Правой кнопкой мыши нажмите на растр *PSP* в панели меню. Из появившегося списка выберите **Свойства**. Появится следующий диалог:



С левой стороны вы можете видеть вкладки, а справа – набор настроек для каждой из них. Перейдите на вкладку **Стилъ**. В группе настроек **Визуализация** обратите внимание на максимальное и минимальное значение растра. Минимальному значению соответствует значение -9999. Растр *РСР* содержит информацию о количестве осадков. Очевидно, что значения -9999 и любого другого отрицательного значения быть не может. Это служебное значение, оно указывает на отсутствие данных на данной территории (в данном пикселе). Исключим это значение.

Для этого перейдите на вкладку **Прозрачность** (1). В группе параметров **Значение «нет данных»** в поле **Дополнительное значение** введите -9999 (2). Нажмите **Применить** (3) или **ОК** (в этом случае диалог автоматически закроется).

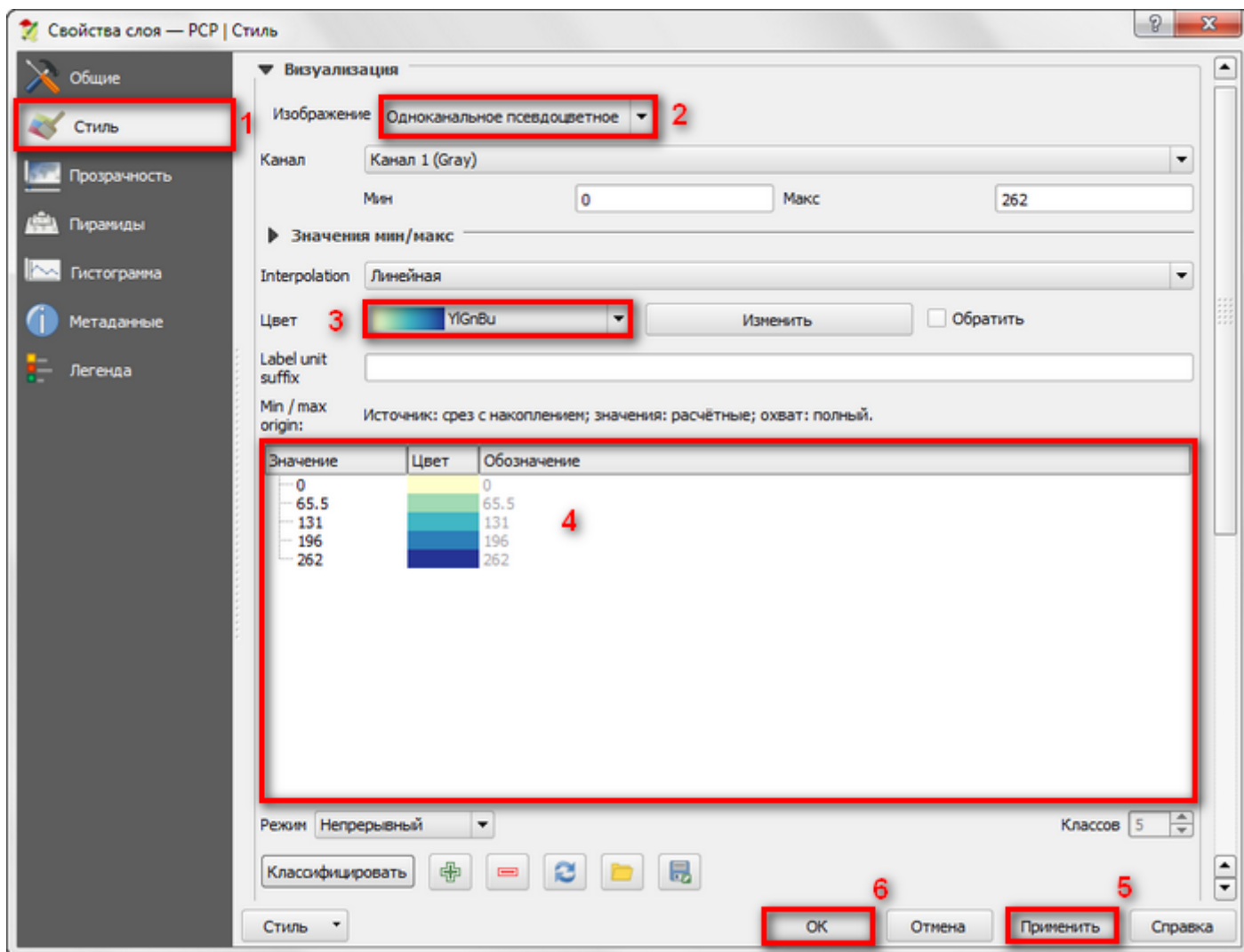


Теперь зададим легенду (палитру) для нашего растра.

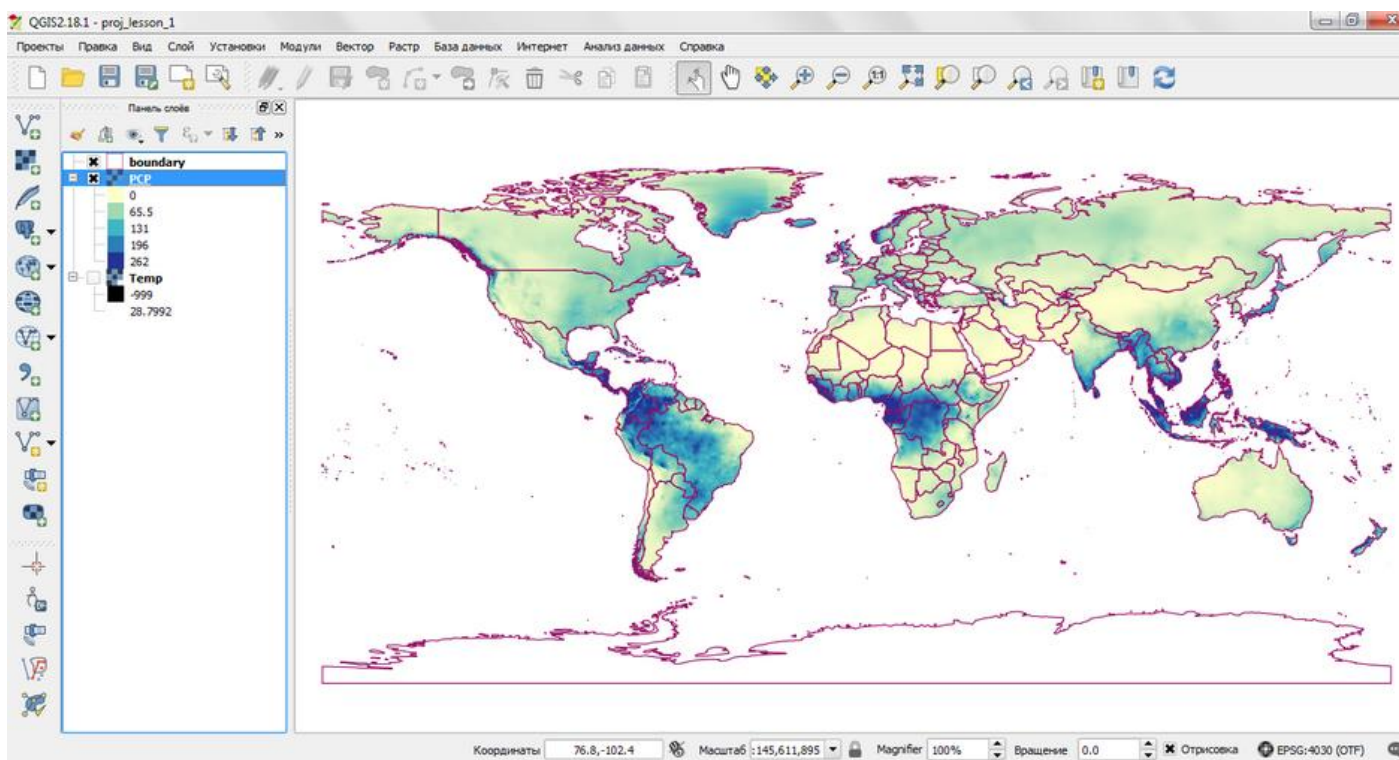
Перейдите на вкладку **Стиль** (1). В группе настроек **Визуализация** выберите тип изображения *Одноканальное псевдоцветное* (2). В группе настроек **Значение мин/макс** из выпадающего списка выберите любую цветовую палитру (3). Внизу, в пустом окне, отобразится легенда карты (4). Нажмите **Применить** (5). Нажмите **ОК** (6).

**Примечание 1.** Для более ранних версий QGIS может потребоваться нажать кнопку **Классифицировать** после выбора палитры.

**Примечание 2.** По умолчанию в процессе визуализации цвета палитры равномерно распределяются от минимального до максимального значения количества осадков представленного на карте. Цвета легенды на карте можно сделать более контрастными в определенном интервале, растянув палитру не на весь диапазон значений раstra, а только на заданный интервал. Поменять диапазон значений для растяжки градиций цветов легенды можно вручную, поменяв значения Мин и Макс в панели Свойства слоя, вкладка Стиль. Изменение минимальных и максимальных значений в панели Стиль не изменяет числовых значений клеток раstra, но показывает программе от какого до какого значения проводить растяжку палитры. После изменения значений минимума и максимума следует нажать кнопку Применить. Поэкспериментируйте в выборе оптимального интервала значений для оптимизации визуализации раstra.



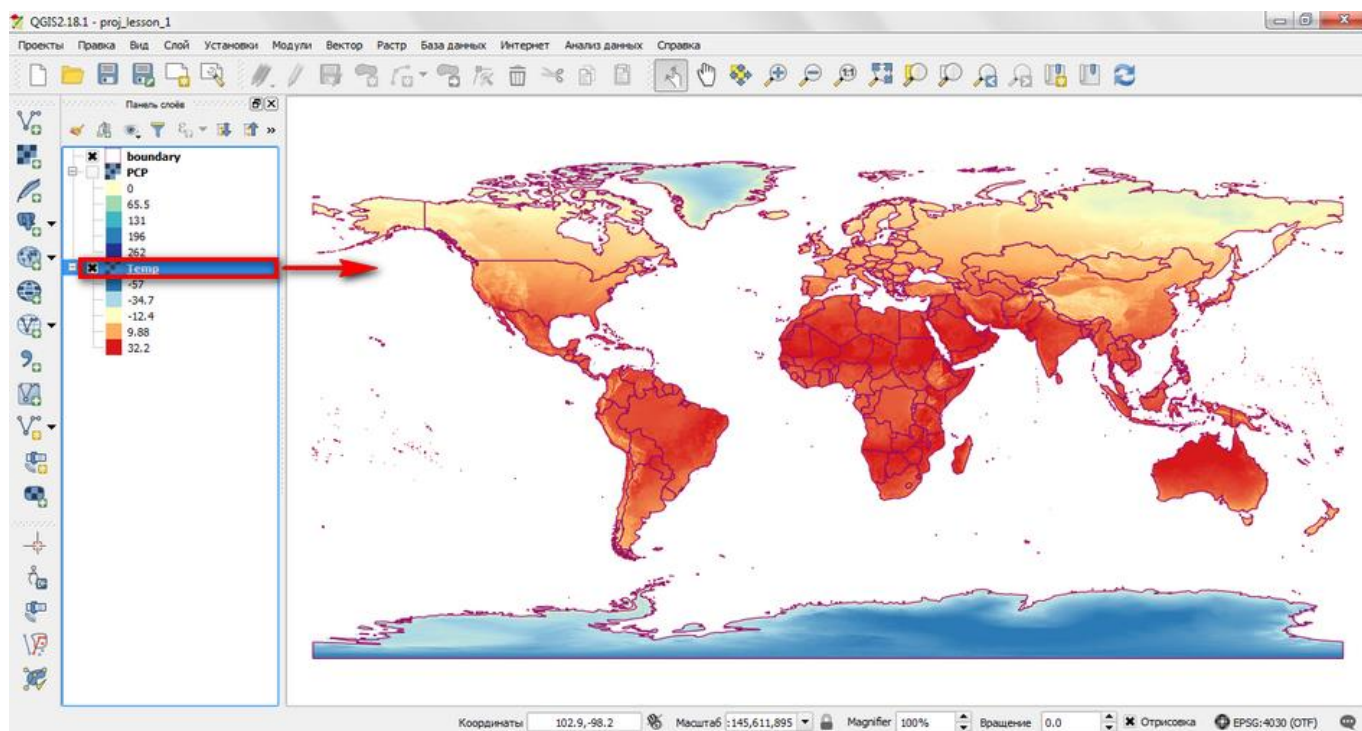
Видим, что в окне карты появились заметные изменения.






Далее деактивируйте слой осадков *PCP* и активируйте слой температур *Temp*. Настройте отображение растра температур аналогично тому, как это было сделано для растра осадков. Обратите внимание, что для слоя температур вы должны исключить значение -999.

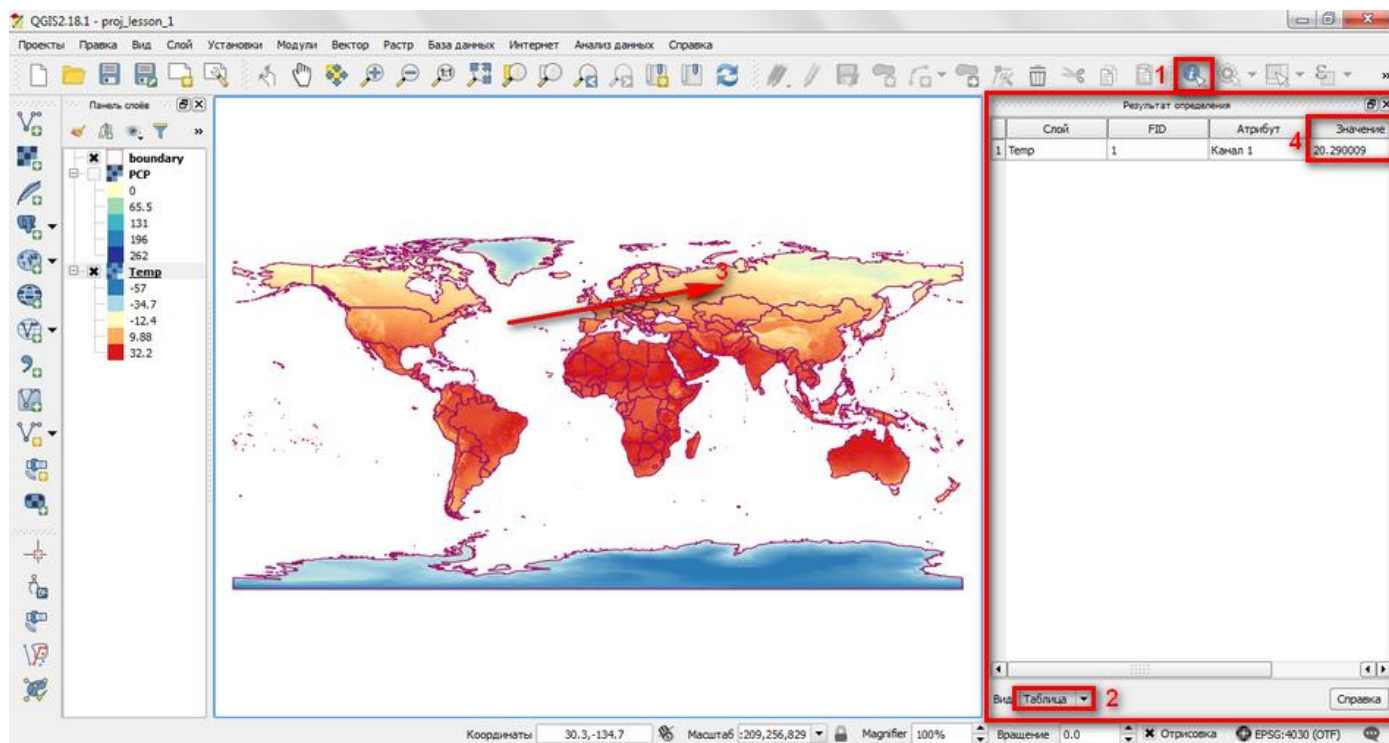
Оцените полученный результат.



Подключите **Панель атрибутов** ([Приложение 1](#)) и найдите инструмент **Определить объекты** . Активируйте его, нажав на иконку (1). При этом слой, значения которого вы хотите просматривать, должен быть предварительно выделен на панели слоёв.

Курсор превратится в чёрную стрелку с буквой “i”, а справа от области карты появится диалог **Результат определения**. В левом нижнем углу диалога выберете из выпадающего списка режим отображения *Таблица* (2). Наведитесь на любую точку на карте и кликните в неё левой кнопкой мыши (3). В таблице диалога **Результат определения** отобразится значение в точке, выбранной на карте (4).

Убедитесь, что карта температур является растровой. Для этого увеличьте контрастный участок карты до такой степени, чтобы стали различимыми отдельные клетки растра. Для выполнения этой операции вам потребуется подключить также панель **Инструментов перемещения по карте** ([Приложение 1](#)). Обратите внимание, что значения температур в разных клетках растра различаются, но в пределах каждой клетки остаются неизменными. - **Растр представляет собой матрицу численных значений, представленных в клетках растра**. В **Свойствах слоя** (клик правой кнопкой мыши на слой температур) во вкладке **Общие** можно увидеть, что растр температур состоит из 3600 столбцов и 1800 строк. Это значит, что растр содержит  $3600 \times 1800 = 6480000$  клеток. Мы работаем с мировой картой, которая простирается на 360 градусов по долготе и на 180 по широте. Таким образом, размер каждой клетки растра составляет 0.1 градуса. **Размер клетки характеризует пространственное разрешение растровой карты**, с которой мы работаем. Для растровых компьютерных карт пространственное разрешение является аналогом масштаба традиционных бумажных карт.



Для того чтобы посмотреть на значения слоя осадков, выделите на панели слоёв *PCP*, причем включать видимость слоя совсем необязательно.

Теперь растры готовы для дальнейшей работы.

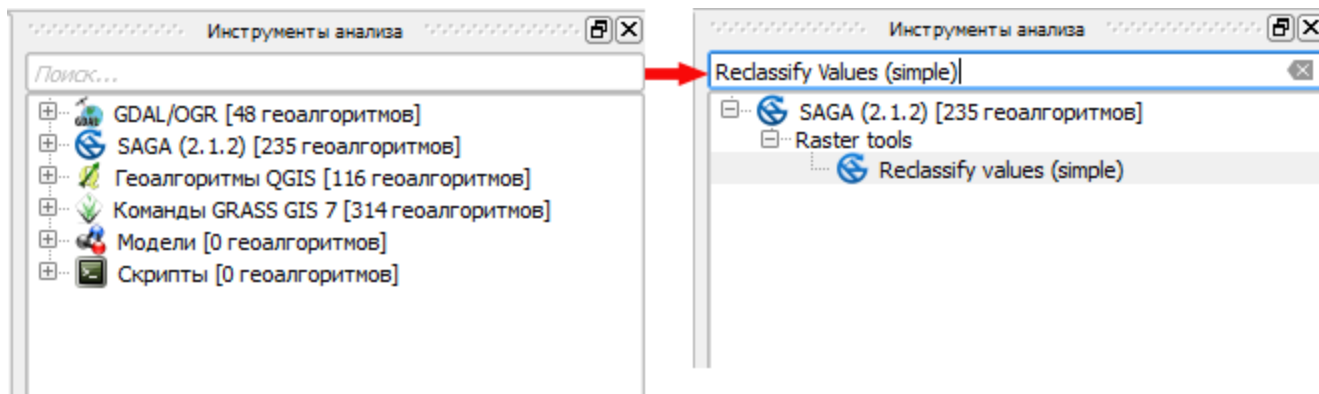
Выберем диапазон условий, который подходит для нашего отдыха. Например, найдём те места на Земле, которые удовлетворяют условию: температура должна лежать в диапазоне [22-30] градусов Цельсия, а осадки в диапазоне [0-30] мм. Причем оба условия должны соблюдаться одновременно.

Для начала выделим для каждого слоя обозначенные диапазоны.

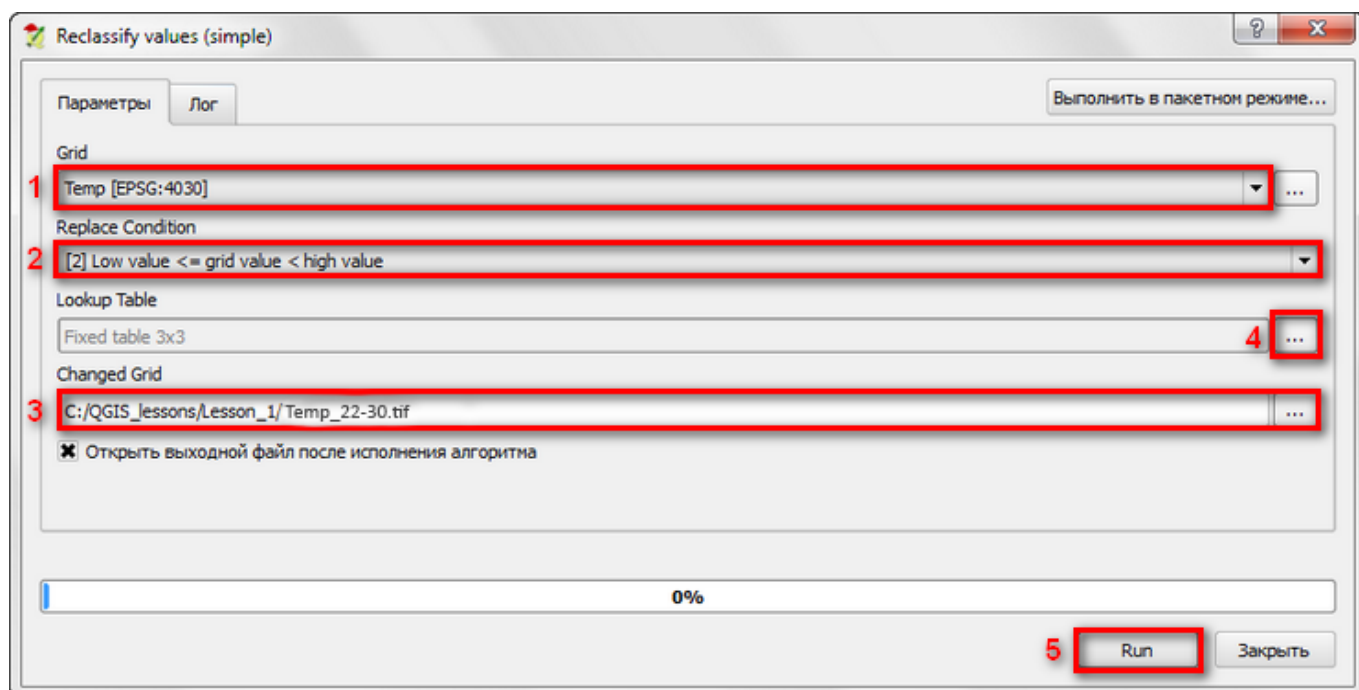
Воспользуемся инструментом анализа **Reclassify Values (simple)**. Данный инструмент не является родным для QGIS, он принадлежит другой открытой ГИС – SAGA GIS. Тем не менее, интерфейс QGIS позволяет работать с внешними инструментами, ему не принадлежащими.

Через пункт меню **Анализ данных** выберите пункт **Панель инструментов**. Справа от области карты появится диалог **Панель инструментов**, в котором будет представлен список всех доступных внутренних и внешних функций. В верхней части диалога в строке поиска введите *Reclassify Values (simple)*.





Дважды кликните по результату поиска левой кнопкой мыши. Перед вами появится диалог **Reclassify Values (simple)**. В качестве входного параметра **Grid** из выпадающего списка выберите слой *Temp* (1). Для пункта **Replace Condition** выберите третье условие: *[2] low value <= grid value < high value* (2). Задайте путь и название выходного растра (сохранить в файл) в поле **Changed Grid** (3). Напротив поля для параметра **Lookup Table** нажмите кнопку **...** (4).



Появится диалог **Фиксированная таблица**, который предназначен для задания диапазона значений, который бы удовлетворял условию:  $22 \leq Temp\ value < 30$ .

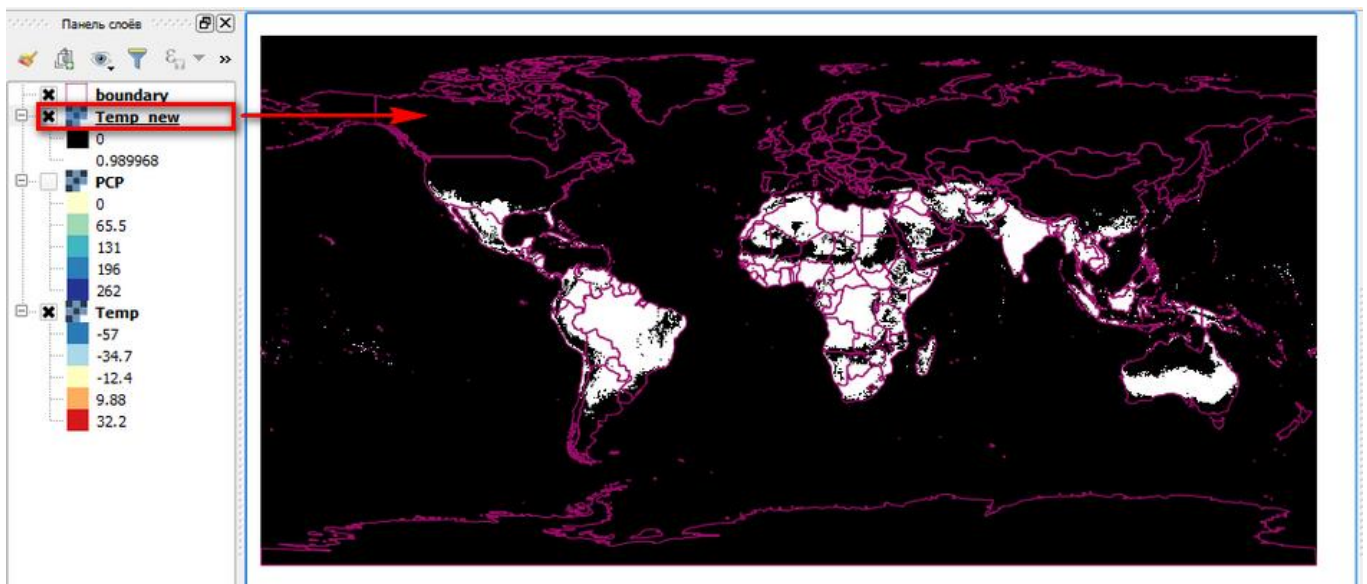
Заполните таблицу следующим образом и нажмите **ОК**:

Фиксированная таблица

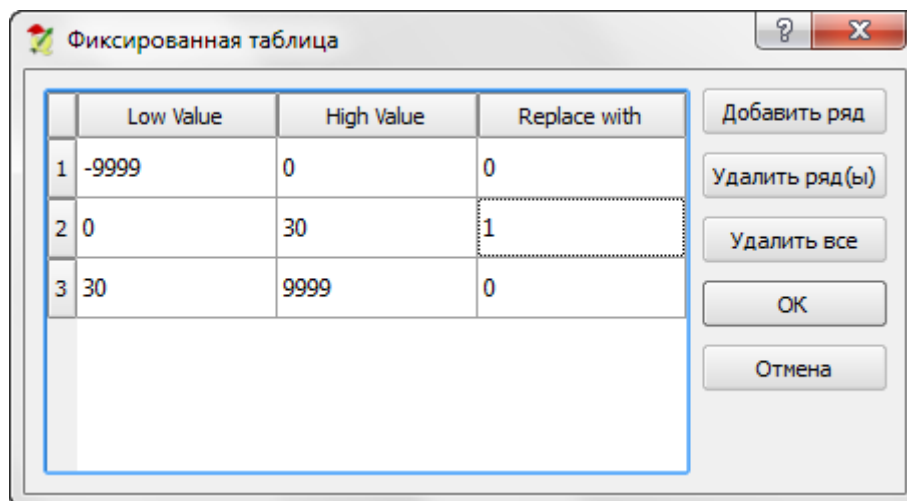
	Low Value	High Value	Replace with
1	-999	22	0
2	22	30	1
3	30	999	0

Добавить ряд  
Удалить ряд(ы)  
Удалить все  
ОК  
Отмена

Нажмите **Run** (5) для запуска инструмента в диалоге **Reclassify Values (simple)**. Дождитесь окончания процесса. На панели слоёв появится новый растр температур *Changed Grid*, клетки которого с численными значениями равными единице (на рисунке показаны белым цветом) лежат в устраивающем нас диапазоне [22-30], а клеткам с неустраивающими диапазонами температур присвоены нулевые значения (черный цвет). Измените название растра на *Temp\_new*: для этого правой кнопкой мыши нажмите по слою и выберите пункт *Переименовать*.



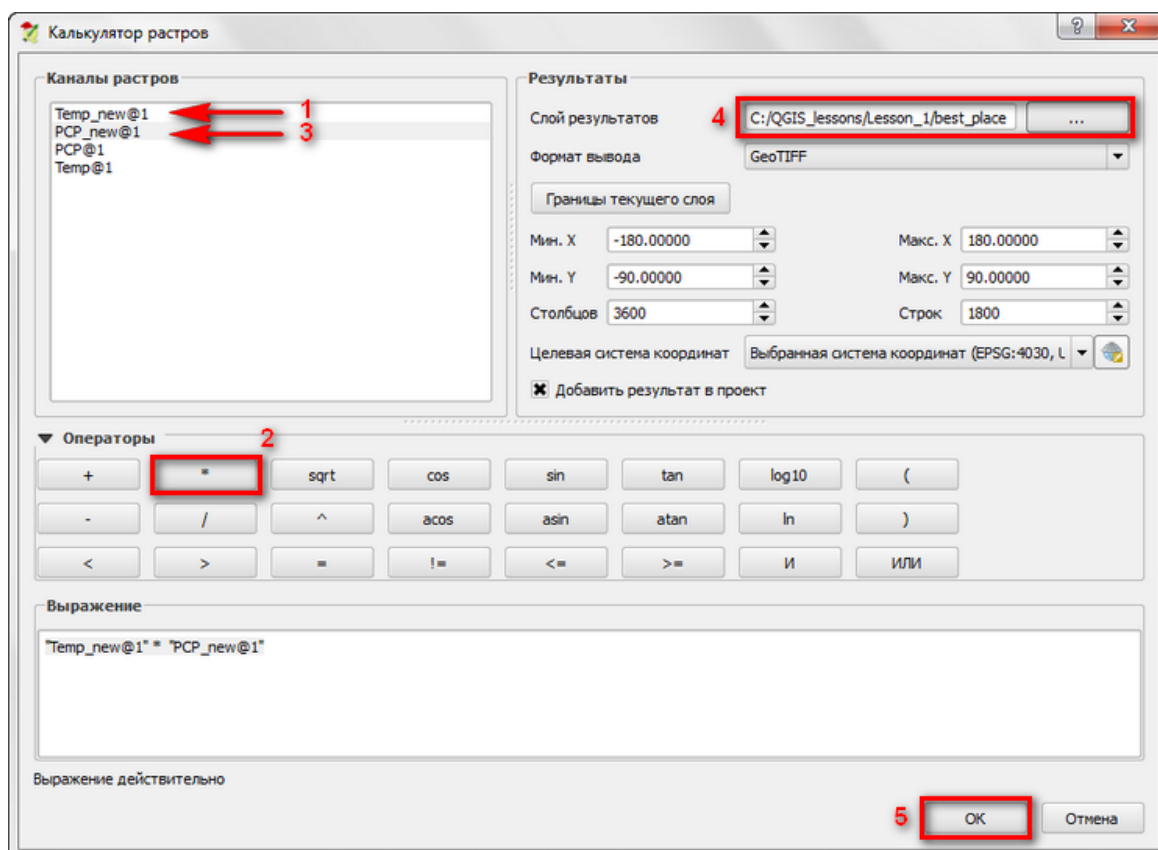
Повторите те же действия для слоя осадков *PCP*. Значения нового растра должны удовлетворять условию  $0 \leq PCP \text{ value} < 30$ . **Фиксированная таблица** должна быть заполнена по следующему образцу:



Переименуйте полученный растр *Changed Grid* в *PCP\_new*.

Наконец, выделим ту территорию на Земле, которая будет удовлетворять обоим условиям, то есть температура будет лежать в диапазоне [22-30], а осадки в диапазоне [0-30].

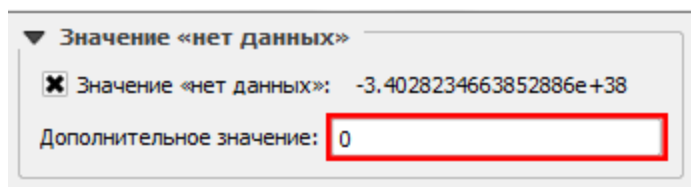
Для выполнения этой задачи воспользуемся растровым калькулятором. **Калькулятор растров** доступен через пункт меню **Растр**. В одноименном диалоге в списке **Каналы растров** находятся все доступные параметры, которые мы можем использовать для вычислений. В области **Выражение** отображается формула, по которой будут производиться вычисления. Составьте следующее выражение, пользуясь параметрами из списка **Каналы растров** (двойной клик по слою) и кнопками операторов: "*Temp\_new@1*" \* "*PCP\_new@1*" (1-3). В поле **Слой результатов** укажите путь и название выходного растра *best\_place* (4). Нажмите **ОК** (5). Результат перемножения двух растров появится на панели слоёв.




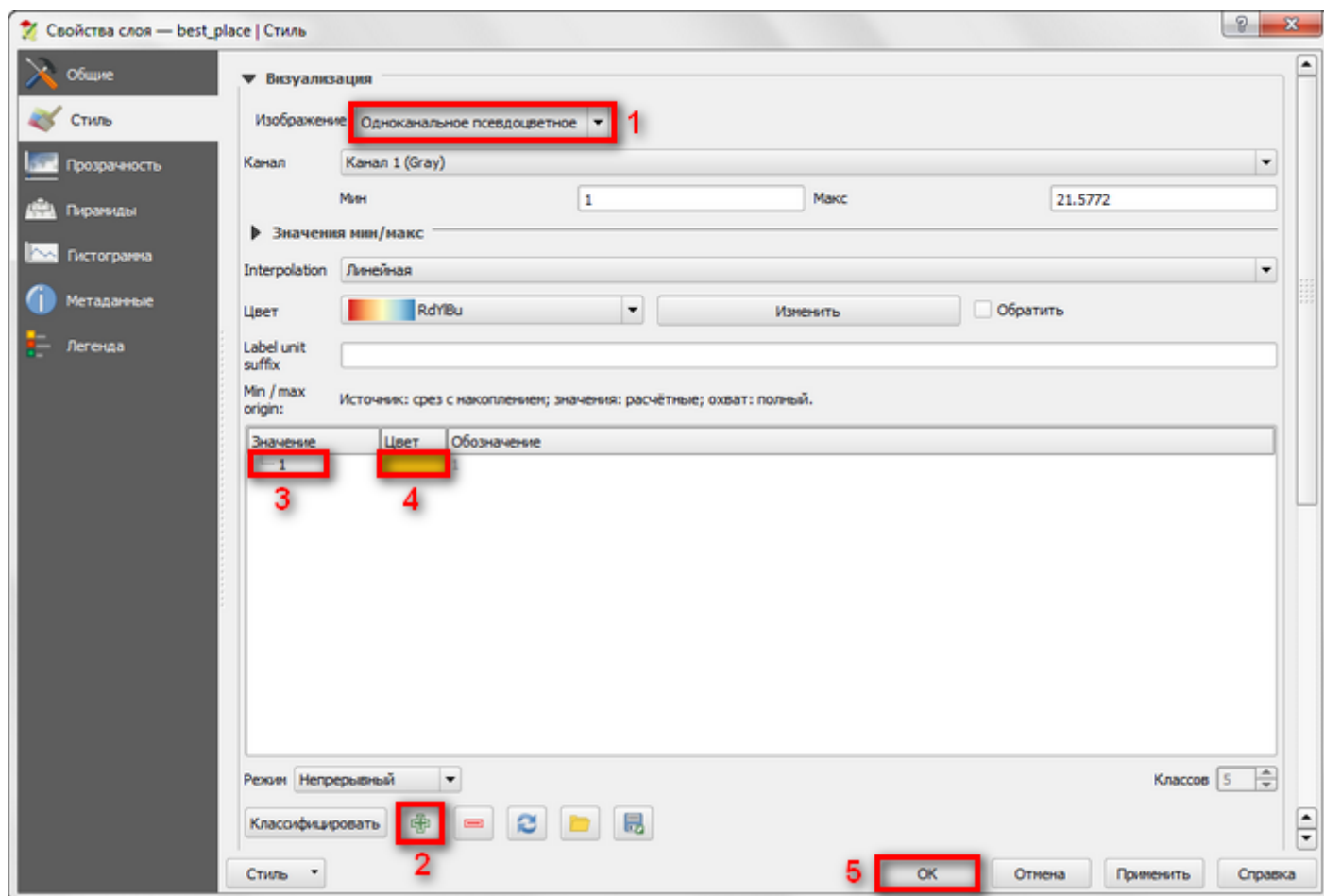
Клетки раstra непригодные по температурам и(или) осадкам дают при перемножении нули ( $0 \times 0 = 0 \dots 0 \times 1 = 0$ ). И только клетки одновременно пригодные и по температурам и осадкам дают при перемножении единицы ( $1 \times 1 = 1$ ). В итоговом растровом слое по умолчанию мы видим пригодные территории в белом цвете, а непригодные в черном.

Настроим отображение конечного результата.

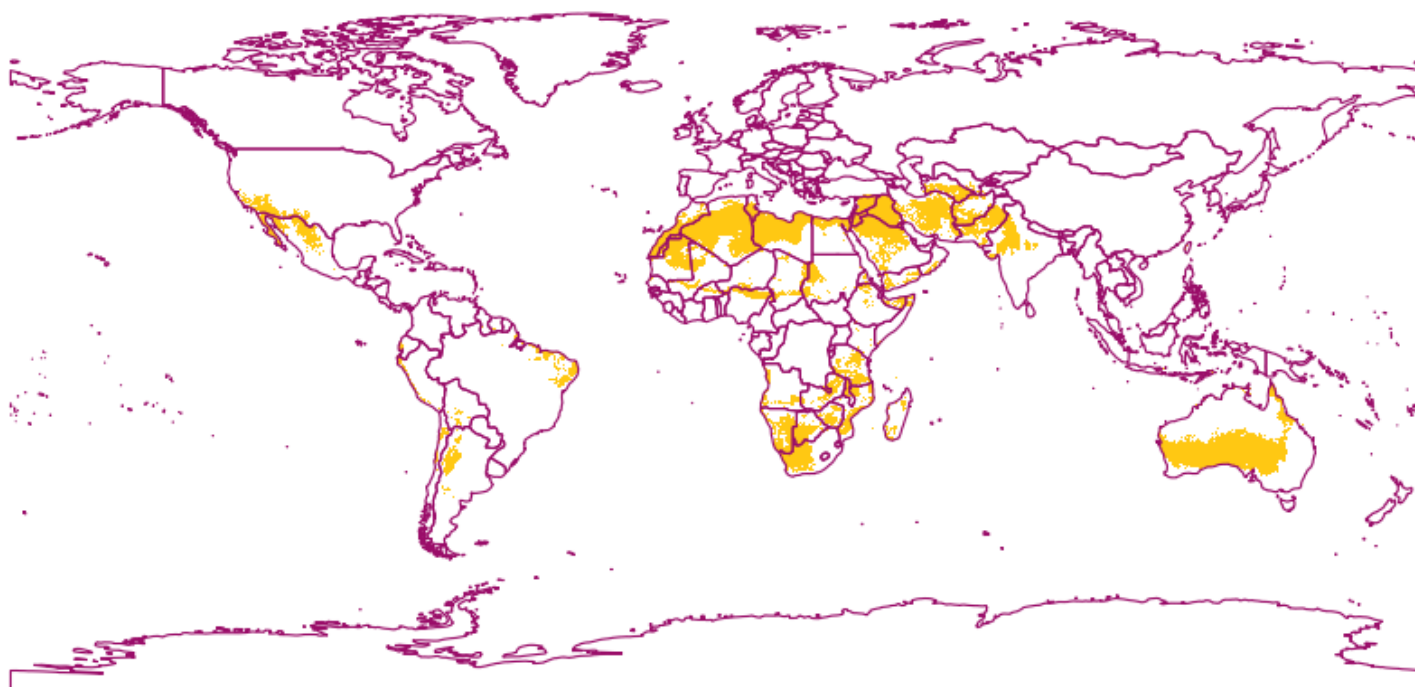
Отключите все слои, кроме *best\_place u boundary*. В свойствах слоя *best\_place*, на вкладке **Прозрачность** укажите дополнительное значение "нет данных", равное 0.



Перейдите на вкладку **Стиль**. В группе настроек **Визуализация** выберите тип изображения *Одноканальное псевдоцветное* (1). В группе настроек **Значения мин/макс** под таблицей легенды нажмите на зелёный плюсик  (*Добавить значение вручную*) (2). В таблице легенды появится новый класс. Поменяйте значение класса на 1 (3). Вы можете также поменять цвет класса, дважды кликнув на соответствующее поле (4). Нажмите **ОК** (5).



Оцените полученный результат и выберите страны, в которые вы отправитесь отдыхать.



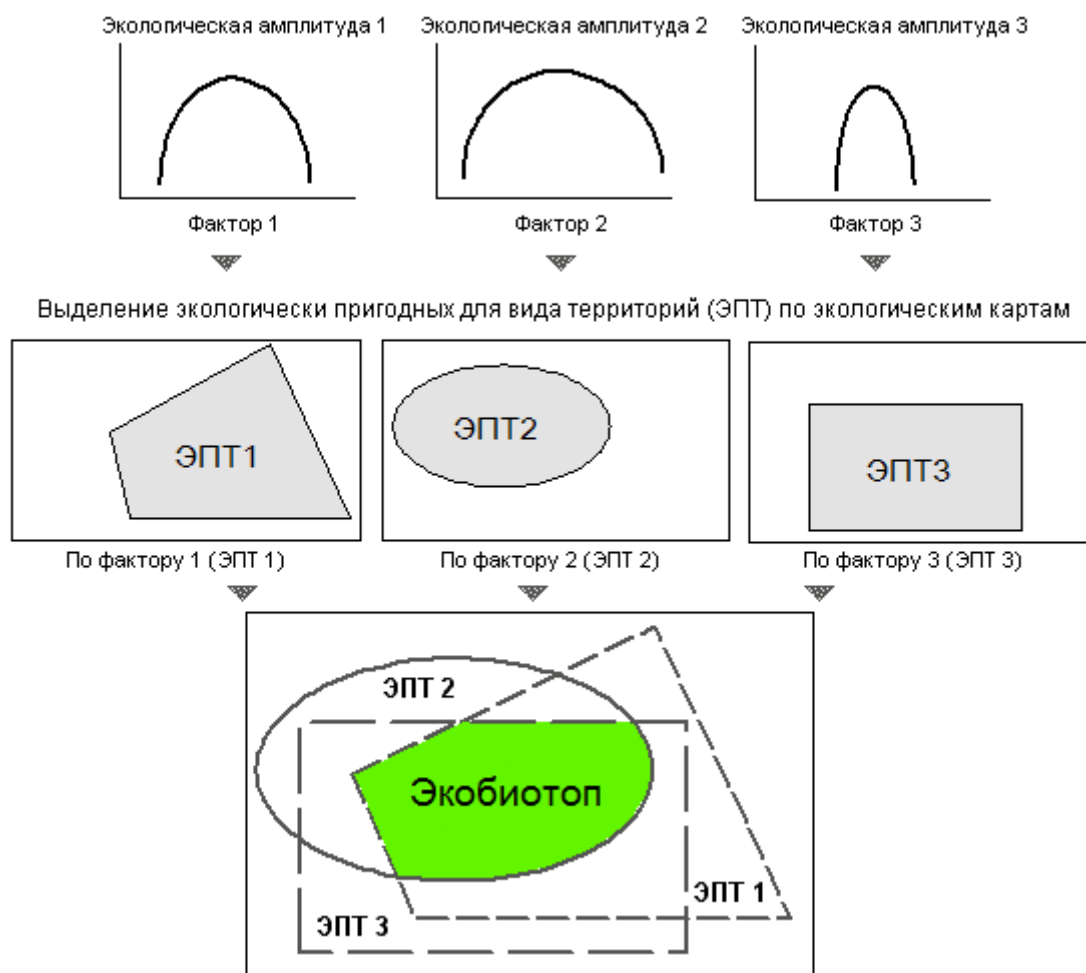
## Тема 2. Концепция эколого-географического анализа и моделирования. Ввод данных в ГИС

### 2.1. Концепция

В основе эколого-географического анализа распространения биообъектов (экологического нишинга) лежит положение о том, что каждый биообъект характеризуется некоторыми экологическими потребностями и его распространение в данной точке связано с присутствием на этой территории экологической ниши, соответствующей всему комплексу потребностей биообъекта. Задача эколого-географического **анализа** при этом сводится к поиску закономерностей распространения биообъекта в связи с экологическими факторами среды. В ходе анализа выявляются основные экологические факторы, определяющие и лимитирующие возможность распространения объекта, и рассчитываются экологические амплитуды (зоны толерантности) биообъекта по отношению к каждому из лимитирующих его распространение факторов ([см. тема 3.2](#)). Анализ проводится на основе сопоставления информации об известном распространении или отсутствии биообъекта с информацией о значениях экологических факторов среды на территориях где этот объект присутствует или отсутствует. В идеальном варианте карта распространения биообъекта накладывается на карты экологических факторов среды, выявляются фрагменты границ ареала, определяемые теми или иными лимитирующими факторами и по этим границам производится экстракция значений экологических факторов. В таком случае экстрагированные значения представляют экологические лимиты распространения вида по каждому из лимитирующих его распространение экологических факторов среды.

Последующая задача **моделирования** сводится к выявлению по экологическим картам тех территорий, которые пригодны для обитания биообъекта по всей совокупности лимитирующих факторов ([см. тема 4.1](#)). В варианте конвертного моделирования процедура заключается в выделении по картам экологических факторов среды экологически-пригодных для обитания вида территорий по каждому лимитирующему фактору и затем в выборе из совокупности экологически-пригодных территорий только тех участков земной поверхности, которые пригодны для существования биообъекта по каждому из лимитирующих факторов.

Концепт моделирования экологических ниш по приведенному алгоритму в схематичном виде представлен на [схеме](#):



(по Афонин А.Н., Ли Ю.С., 2011).

Сходный концепт лежит в основе многих современных технологий моделирования распространения видов, сортов и сообществ живых организмов, базирующихся на эколого-географическом принципе.

Последовательность действий при выявлении потенциального экологического ареала биологического объекта посредством эколого-географического анализа и моделирования с использованием геоинформационных технологий в варианте конвертного моделирования по растровым экологическим картам складывается следующим образом:

- 1) Выявление основных лимитирующих распространение вида факторов среды.
- 2) Количественное определение экологических амплитуд (зон толерантности) вида по отношению к каждому лимитирующему фактору. - При эколого-географическом анализе осуществляется сопоставлением имеющихся сведений о местах нахождения биологических объектов с информацией экологических карт (операции наложения слоев и экстракции значений с экологических карт в точках и зонах нахождения биологических объектов).
- 3) Выявление по экологическим картам экологически пригодных территорий (ЭПТ) по отношению к каждому лимитирующему распространение вида фактору (операции реклассификации). Экологически пригодная территория – это совокупность клеток раstra, значения экологических факторов среды которых находятся в пределах экологической амплитуды вида по данному фактору.
- 4) Моделирование потенциального экологического ареала вида, как территории, пригодной для обитания вида по всей совокупности ЭПТ – то есть выбор территорий, каждая точка которых



пригодна для существования вида по всей совокупности лимитирующих факторов (операции растровой алгебры).

Далее на практикумах мы разберем пример эколого-географического анализа и моделирования распространения биологического объекта по приведенной схеме. Для решения этой задачи с использованием геоинформационных технологий нам, прежде всего, потребуется освоить технологии ввода данных в ГИС.

## **2.2. Ввод данных в ГИС**

Технологии ввода данных позволяют ввести в ГИС известные места обитания биообъектов - отдельные точки или площади ареалов. При этом становится возможным наложение данных о местах нахождения объектов на карты экологических факторов среды. Наложение карт известных мест нахождения/отсутствия биологического объекта на карты экологических факторов среды позволяет провести эколого-географический анализ: выявить факторы, лимитирующие распространение биообъекта, оценить количественно его экологические амплитуды (зоны толерантности) по отношению к лимитирующим факторам. Ввод данных предполагает географическую привязку вводимой информации с последующей ее векторизацией или растреризацией. В случае ввода географических точек с приборов геопозиционирования, геопривязка производится навигационными приборами. В таком случае ввод информации в ГИС осуществляется посредством несложных операций импорта координатно-связанной информации. Иногда форматы представления координатно-связанной информации навигаторов напрямую читаются ГИС-программами, - в таких случаях операции импорта точек и треков из навигаторов в ГИС осуществляются автоматически. В противном случае координаты точек с приборов геопозиционирования могут быть переведены в табличную форму и импортированы в ГИС по протоколу импорта табличных данных ([см. практикум 2.1](#)).

Сложнее осуществить ввод в ГИС информации о точечных и площадных ареалах объектов с бумажных карт. Такие карты сканируются, и первым шагом их ввода в ГИС является геопривязка. В ходе геопривязки ГИС-программа получает информацию о проекции вводимой карты, ее масштабе и пространственной ориентации. Геопривязанная отсканированная карта представляет собой растр. На геопривязанную растровую карту могут быть наложены другие геопривязанные карты: например, слои топографии или экологические карты. Однако проводить эколого-географический анализ по отсканированной (raw) растровой карте биообъекта неудобно, а в ряде случаев невозможно. Сложность при визуальном анализе представляет непрозрачность или только частичная прозрачность растрового слоя, а при количественном ГИС-анализе - невозможность проведения экстракций количественных значений по растру, не являющемуся гридом ([см. приложение 2](#)). Поэтому с целью последующего эколого-географического анализа с геопривязанной карты производится векторизация областей интересов (точек и площадей ареалов). В приведенном ниже практикуме рассмотрены варианты ввода данных в ГИС - геопривязка и векторизация данных.



## Практикум 2. Ввод в ГИС данных о распространении вида

### Практикум 2.1. Ввод в ГИС точечных данных с координатной привязкой

#### Задание:

Ввод в ГИС точечных данных по температурам, полученных на российских метеостанциях.

#### Материалы для выполнения задания ([скачать](#)):

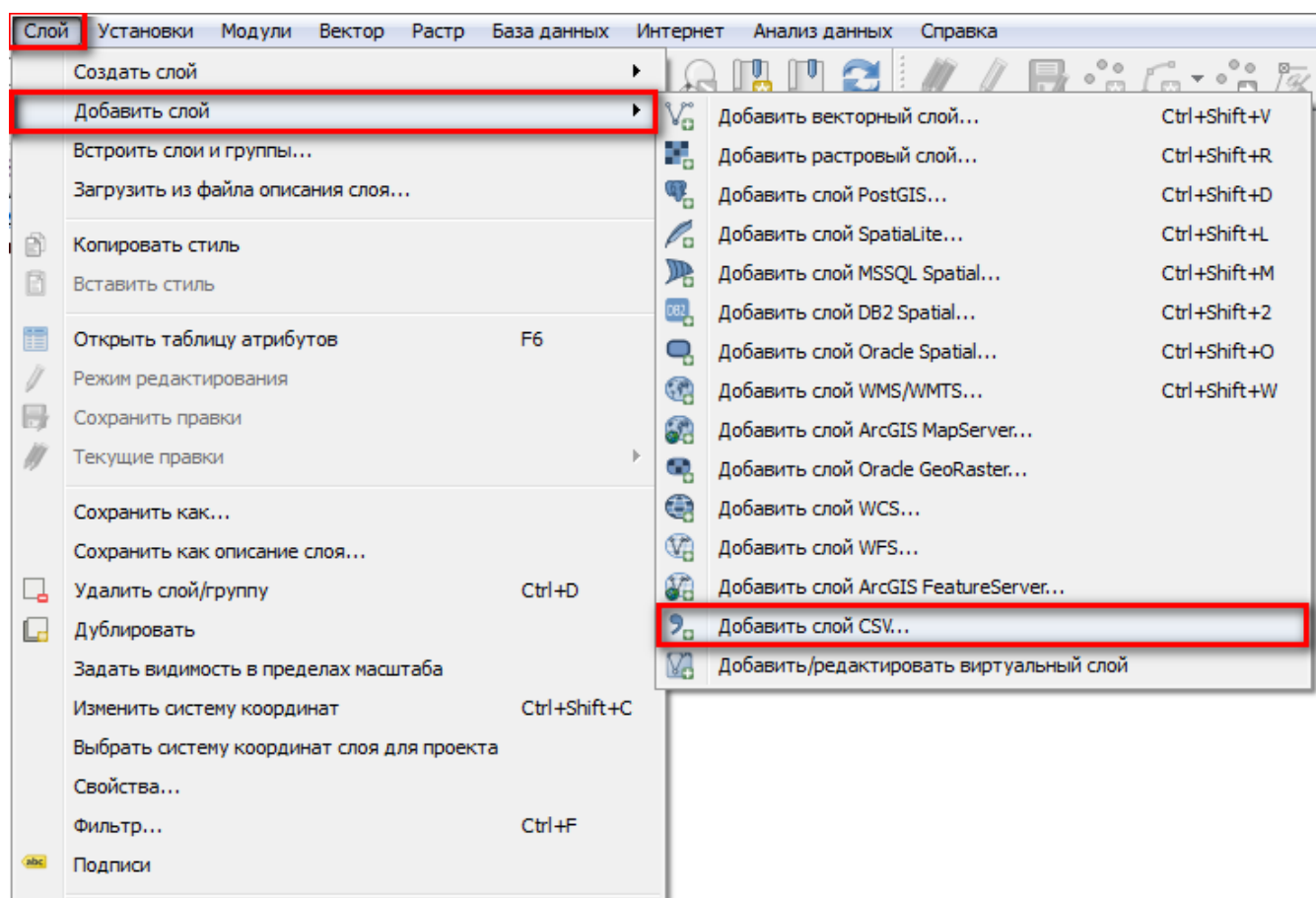
- Файл Excel с метеоданными по станциям: *meteoru\_2012\_s coord.xlsx*
- Векторный слой государственных границ: *boundary.shp* (+\*.shx, \*.dbf, \*.prj)

Очень часто координаты точек представляются в виде таблиц. Опишем технологию на примере ввода точек по российским метеостанциям. Координаты точек по температурам воздуха на 15.07.2012 получены с сайта <http://meteo.ru/>. В задании они даны в виде Excel-файла *meteoru\_2012\_s coord.xlsx* - Данные хранятся в Excel-таблице. QGIS работает только с текстовым форматом CSV. Следовательно, необходимо перевести точки из формата Excel в формат CSV. Для этого в программе Microsoft Excel (или OpenOffice) нужно открыть таблицу и пересохранить её, задав тип файла **CSV (разделители-запятые)**.

#### Работа в QGIS

Запустите программу. Загрузите векторный слой административных границ стран мира *boundary*.

Загрузим в проект CSV-таблицу и отобразим на карте точки метеостанций. Зайдите в пункт меню: **Слой\Добавить слой\Добавить слой CSV...**



Появится диалог **Создать слой из текстового файла**. Выберите файл CSV-таблицы, который необходимо загрузить в проект (1). Если в данных присутствует кириллица, то может потребоваться сменить кодировку (2), иначе русские слова могут отображаться некорректно. Выберите разделители колонок, в нашем случае, это точка с запятой (4). Задайте названия колонок для координаты X (5) и Y (6). Координате X соответствует долгота (longitude), а Y – широта (latitude). **ОК** (7).

Создать слой из текстового файла

Имя файла: C:/QGIS\_lessons/Lesson\_2/meteoru\_2012\_s\_coord.csv 1

Имя слоя: meteuru\_2012\_s\_coord Кодировка: windows-1251 2

Разделители: ☐ Запятые (CSV) ☒ Другие разделители 3 ☐ Регулярное выражение

☐ Запятая ☒ Табуляция ☐ Пробел ☐ Двоеточие 4 ☒ Точка с запятой

Другие: Кавычки: Управляющие:

Записи: Игнорировать строки в начале файла: 1 ☒ Загружать имена полей из первой строки

Поля: ☐ Удалять лишние пробелы ☐ Отбрасывать пустые поля ☐ Использовать десятичную запятую

Формат геометрии: ☒ Координаты точки ☐ WKT ☐ Только атрибуты

X-координата: Long 5 Y-координата: Lat 6 ☐ Широта/долгота

Свойства слоя: ☐ Пространственный индекс ☐ Индексировать подмножества ☐ Отслеживать изменения

	WMO	Meteostation	Lat	Long	Tsr
1	20046	Баренцбург	78.07	14.25	8.3
2	20046	Остров Диксон	73.5	80.4	8.2
3	20046	Хатанга	71.98	102.47	12.5
4	20046	Волочанка	70.97	94.5	12
5	20046	Саскылах	71.97	114.08	11.7
6	20046	Джалинда	70.13	113.97	12.4
7	20046	Чукотка	70.62	147.88	14.7

7 OK Отмена Справка

В появившемся диалоге **Выбор системы координат** укажите (1) систему координат **WGS-84** (ID источника - **EPSG: 4326**) (2). OK (3).

Выбор системы координат

Укажите систему координат для слоя meteuru\_2012\_s\_coord

Поиск: WGS 84 1

Последние используемые системы координат

Система координат	ID источника
WGS 84 / UTM zone 48N	EPSG:32648
WGS 84	EPSG:4326
WGS 84 / UTM zone 52N	EPSG:32652
WGS 84 / UTM zone 44N	EPSG:32644
WGS 84 / UTM zone 46N	EPSG:32646
WGS 84 / UTM zone 39N	EPSG:32639

Системы координат ☐ Скрыть устаревшие

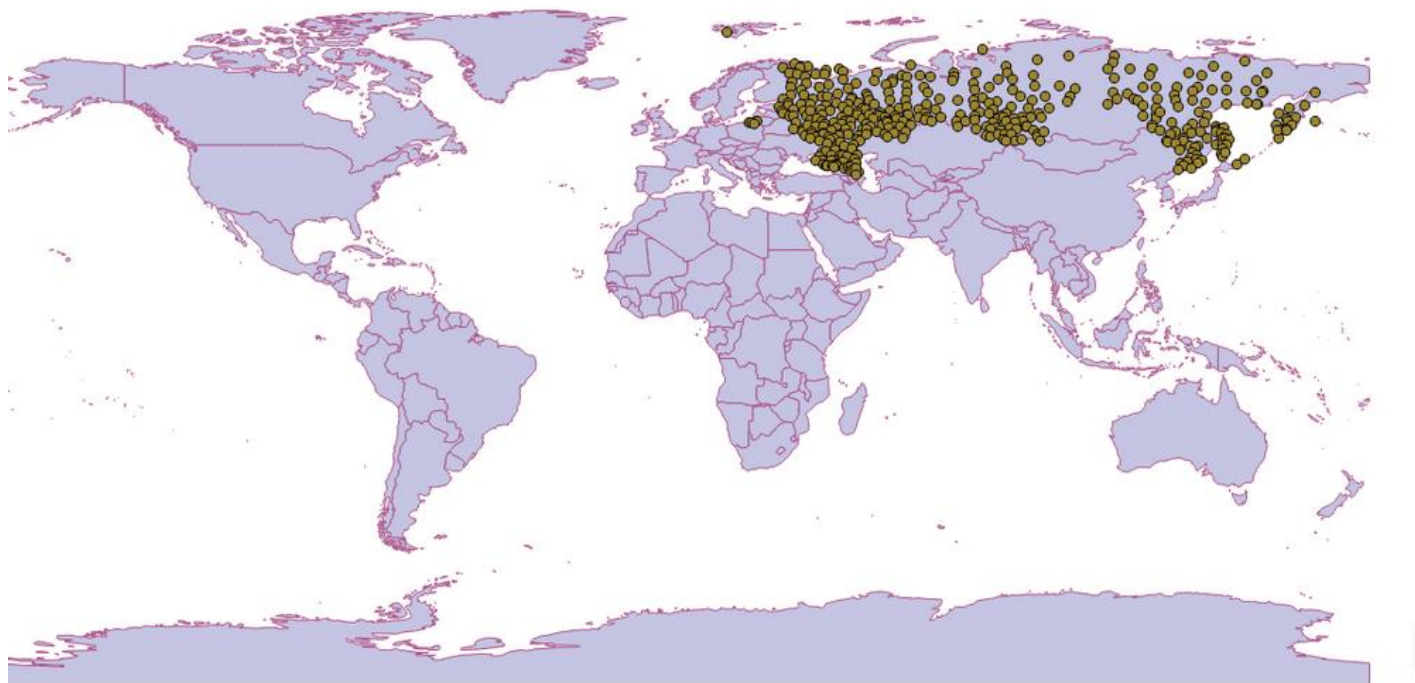
Система координат	ID источника
<b>Географические системы координат</b>	
Reseau de reference des Antilles francaises (1988-1991)	IGNF:WGS84RRAFGEO
Unknown datum based upon the WGS 84 ellipsoid	EPSG:4030
2 WGS 84	EPSG:4326
World Geodetic System 1984	IGNF:WGS84G
<b>Прямоугольные системы координат</b>	

Выбранная система: WGS 84

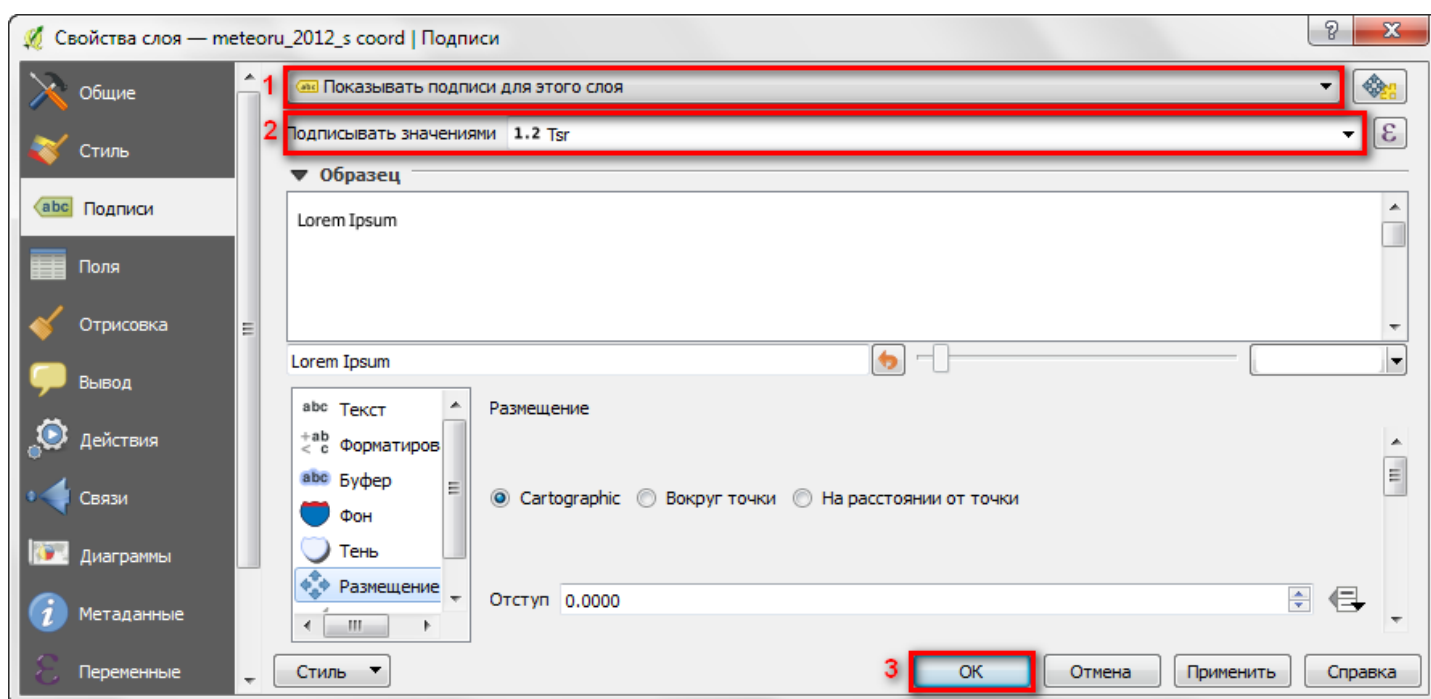
+proj=longlat +datum=WGS84 +no\_defs

3 OK Отмена Справка

Слой точек появится в панели слоёв и отобразится в области карты в виде точечного слоя.



Отообразим значения температур для каждой станции. Зайдите в свойства слоя. Перейдите на вкладку **Подписи**. В левом верхнем углу из выпадающего списка выберите **Показывать подписи для этого слоя** (1). Для опции **Подписывать значениями** из выпадающего списка выбираем атрибут *Tsr* (2). **ОК** (3).



Каждая точка теперь будет подписана значением температуры за 15.07.2012.

## Практикум 2.2. Ввод в ГИС растровых изображений посредством геопривязки

В этом упражнении мы освоим несколько способов ввода данных в ГИС:

- Ввод в ГИС растровых изображений с помощью географической привязки;
- Перевод информации с геопривязанного растрового изображения в векторный ГИС формат посредством оцифровки.

### Задание:

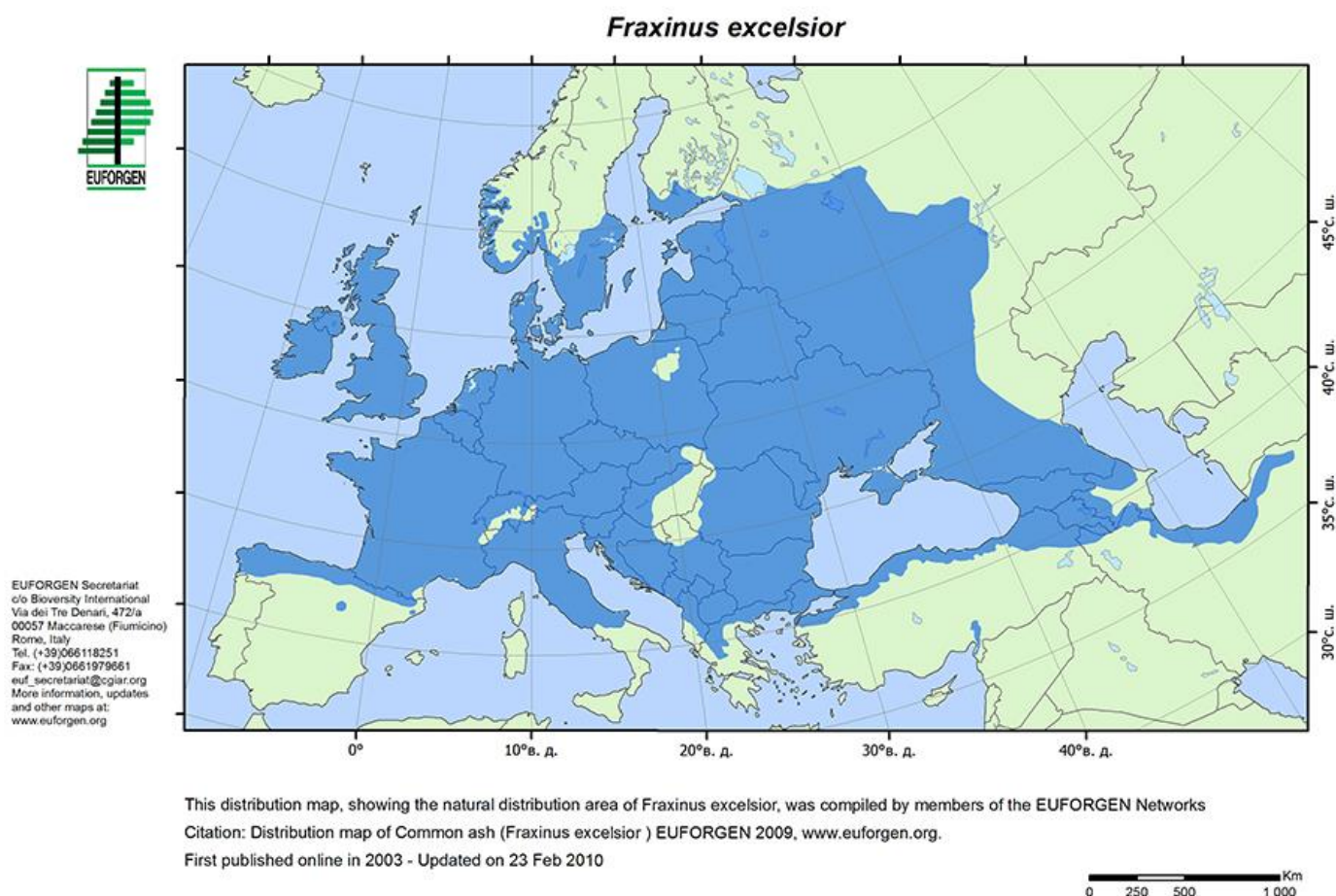
Ввести в ГИС данные о распространении вида.

### Материалы для выполнения задания ([скачать](#)):

- Карта распространения ясеня *Fraxinus excelsior* на территории Европы (в растровом формате без привязки): **Map\_Fraxinus\_excelsior.tif**
- Векторный файл ареала распространения ясеня: **Fraxinus\_excelsior\_EUFORGEN.shp** (+\*.shx, \*.dbf, \*.prj)
- Векторный файл административных границ стран мира: **bound.shp** (+\*.shx, \*.dbf, \*.prj)

### Работа в QGIS

Прежде чем начать работу, внимательно посмотрим на карту распространения ясеня.



Какую информацию можно из неё почерпнуть? Например, можно в общих чертах представить себе зоны распространения ясеня с точностью до стран, границы которых нанесены на карту. Но если нам потребуется выяснить распространение ясеня с точностью до областей, дополнительный слой границ областей мы на негеопривязанную карту ареала ясеня наложить не



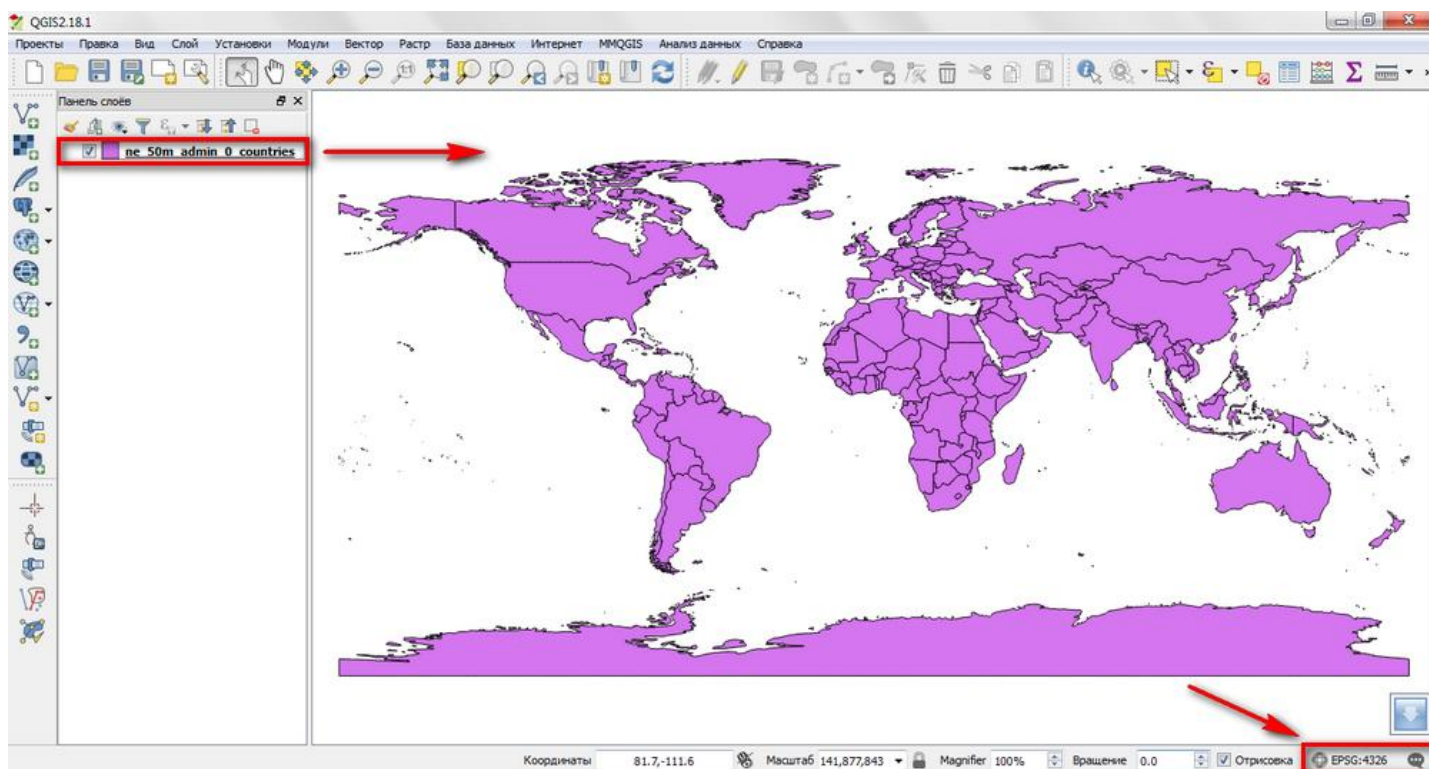
сможем. Также мы не сможем наложить саму негеопривязанную карту на карты температур, осадков и снять с них количественные значения экологических факторов среды в пределах границ ареала ясеня.

Для того, чтобы ГИС смогла работать с нашей картой, чтобы появилась возможность наложения слоев и совместных математических операций над ними - нам необходимо поместить карту ареала в географическое пространство, то есть присвоить каждому пикселю растра, коим является карта, значения координат местности. К счастью, нам не придётся вводить значение для каждого пикселя. Достаточно задать 3-4 точки, чтобы растр “лёт” на своё место. То есть задача сводится к выбору нескольких точек (опорных точек), значения координат которых нам заведомо известны.

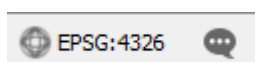
Прявязать карту можно несколькими способами. Попробуем привязать растровую карту в QGIS.

Запустите программу.

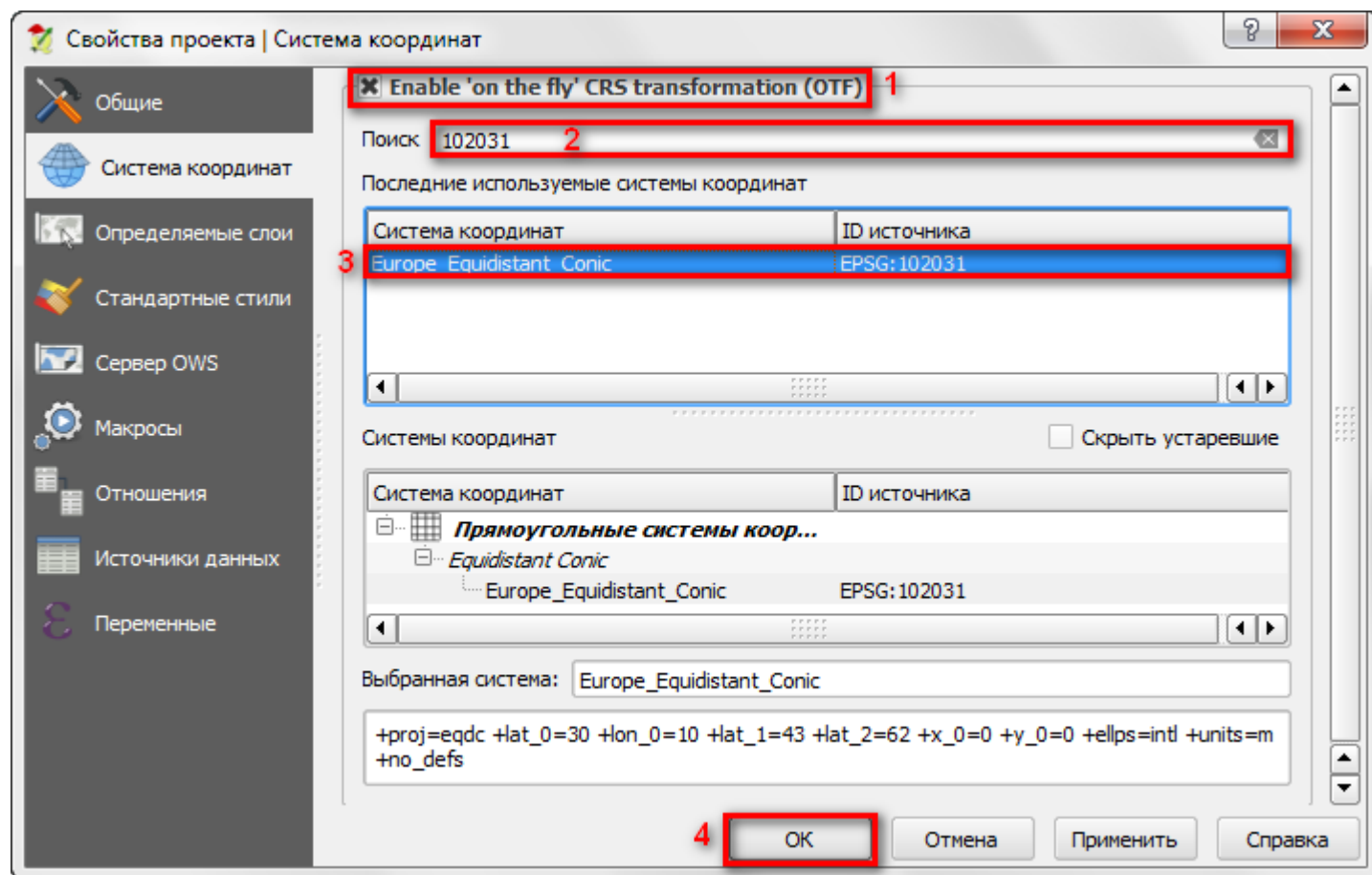
Загрузите в панель слоёв векторную карту границ стран мира *bound.shp*. Карта составлена в географической системе координат (WGS84), поэтому в правом нижнем углу области карты появится код данной проекции : *EPSG: 4326*.



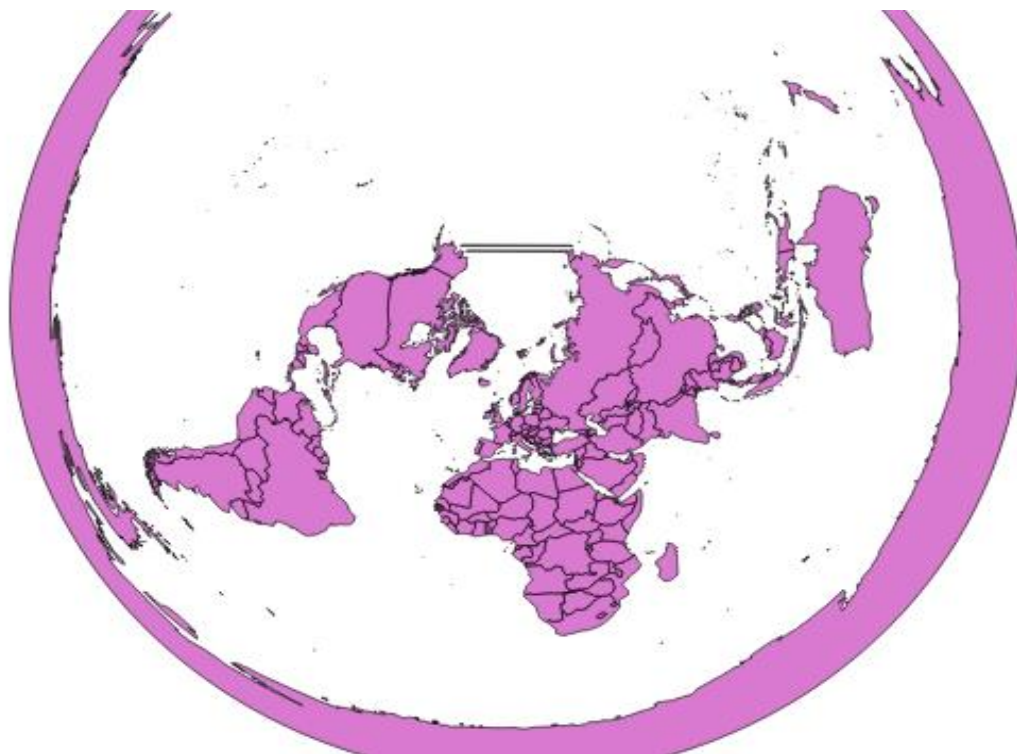
Проекция растровой карты, для которой мы зададим геопривязку, имеет иную проекцию, но известную нам - равнопромежуточная коническая. В библиотеке проекций QGIS название этой проекции – *Europe\_Equidistant\_Conic* (код *EPSG: 102031*). Для того, чтобы привязать исходный растр *Map\_Fraxinus\_excelsior.tif*, нам необходимо привести содержимое в области карты в проекцию, в которой была составлена эта карта. Таким образом мы установим внешнюю проекцию для всех данных проекта (О системах координат и проекциях [см. в приложении 3](#)). Кликните на строку с обозначением системы координат проекта в правом нижнем углу.



Откроется диалог **Свойства проекта|Система координат**. Если у вас не была включена опция перепроецирования “на лету” (1) – активируйте её. В строке поиска введите *Europe\_Equidistant\_Conic* или ее код EPSG 102031 (2). Выделите результат поиска (3), нажмите **ОК** (4).

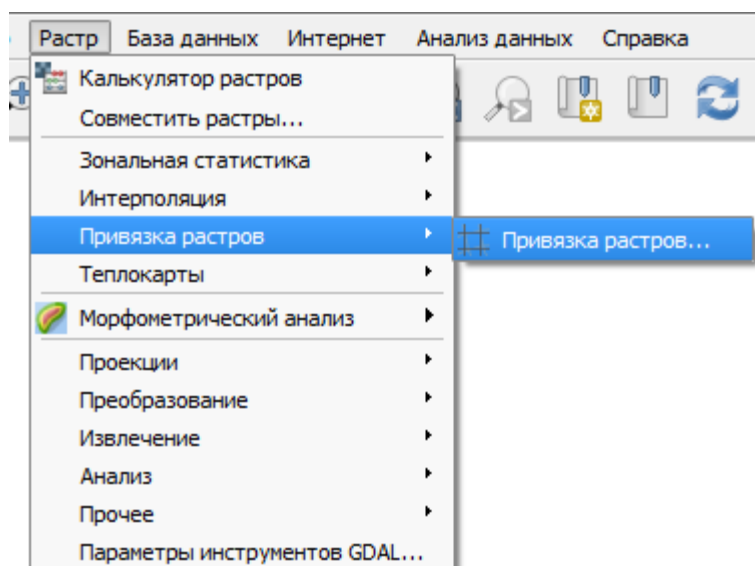


Теперь все данные проекта будут отображаться в равнопромежуточной конической проекции.



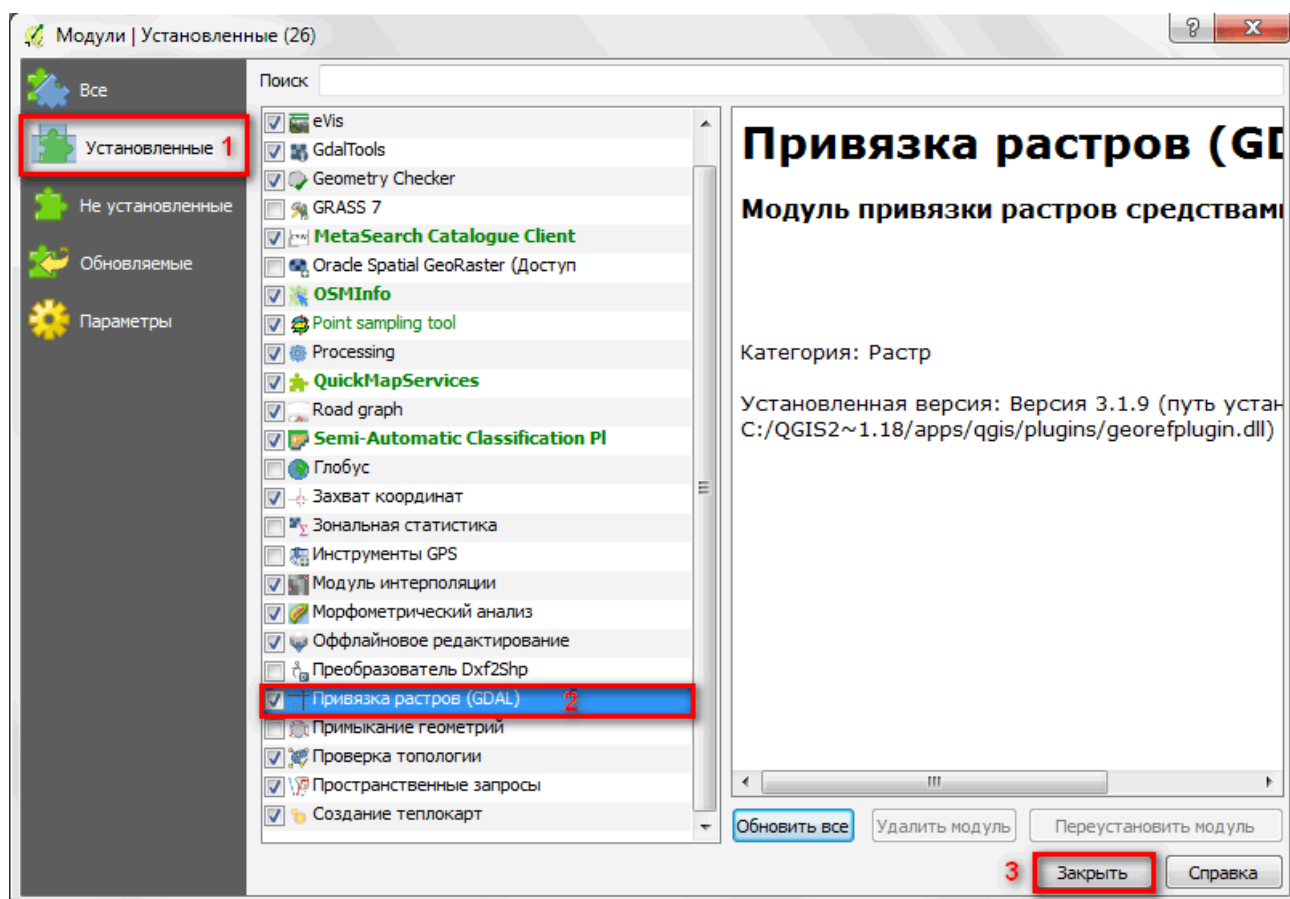
Приблизьтесь к Европе и сравните очертания береговой черты в новой проекции с картой. Настройте отображение слоя для удобства дальнейшей работы. Теперь всё готово для привязки карты.

Из пункта меню **Растр** выбираем инструмент **Привязка растров...**




Если в списке данный пункт не обнаружен, то это значит, что модуль не был активирован. Для того, чтобы его включить, необходимо открыть диалог **Управление модулями** (**Модули\Управление модулями**), перейти на вкладку **Установленные** (1) и поставить галочку напротив пункта **Привязка растров (GDAL)** (2). После этого можете закрыть диалог (3). В пункте меню **Растр** должен появиться инструмент **Привязка растров...**

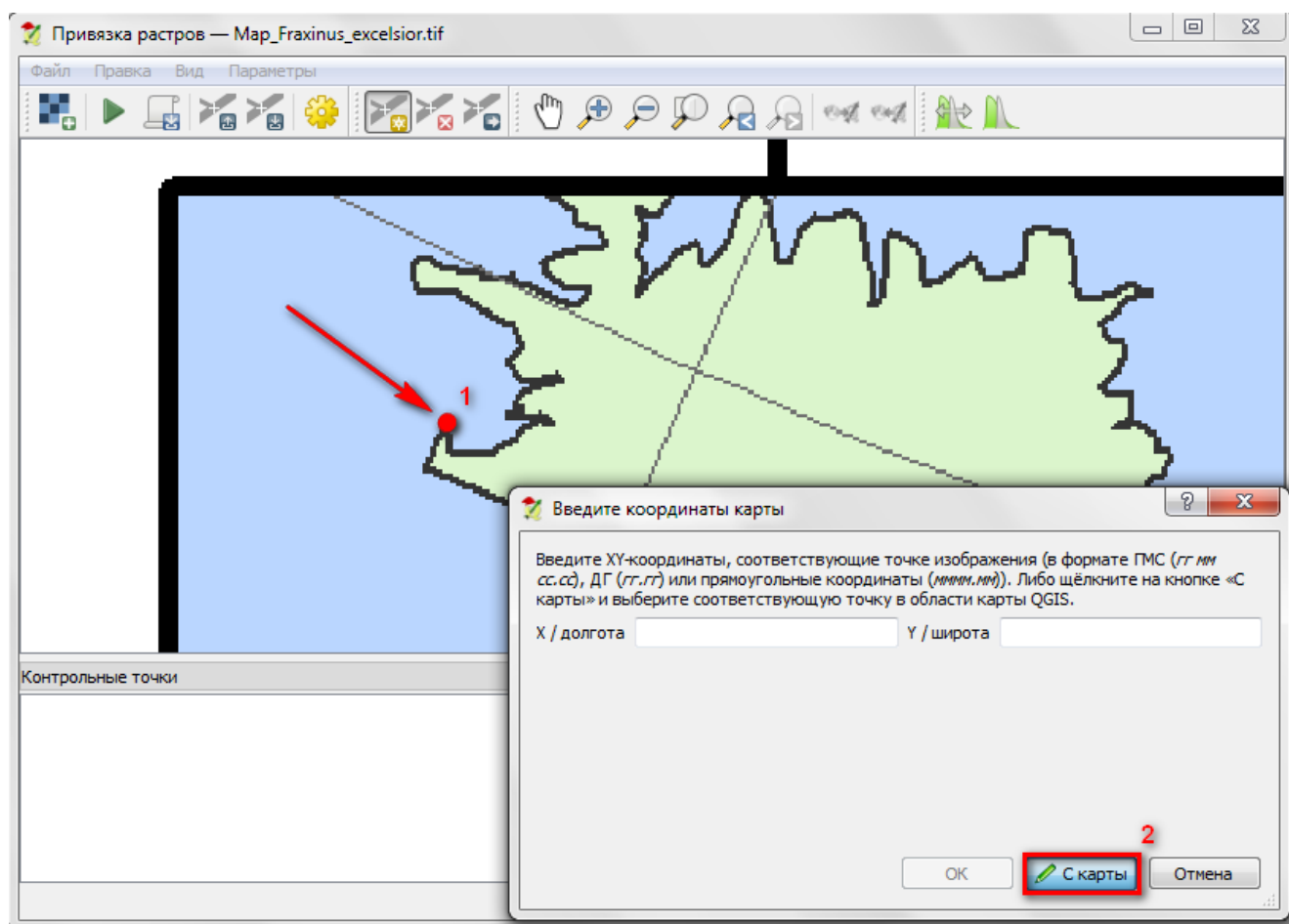




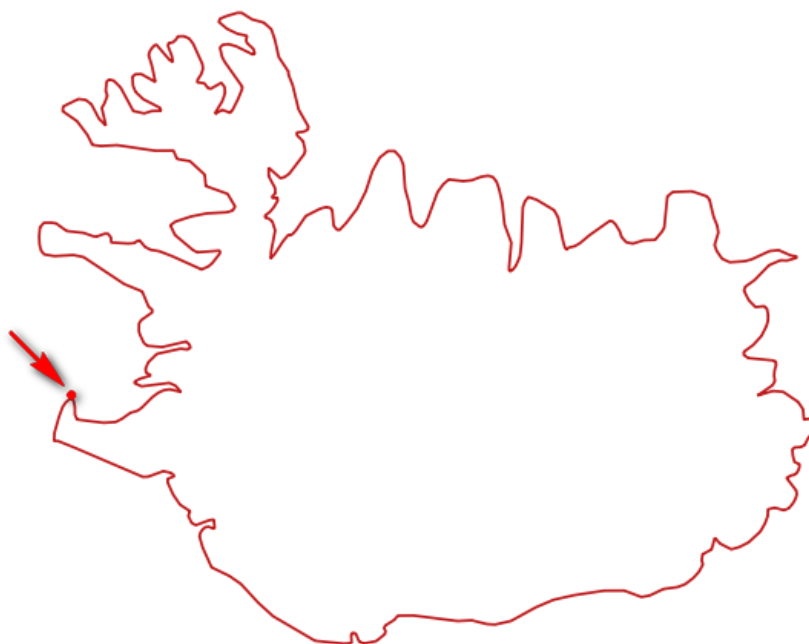
Откройте диалог **Привязка растров**. Откройте растр карты: **Файл\Открыть растр\Map\_Fraxinus\_excelsior.tif**. В верхней части диалога появится растр. Нижняя часть предназначена для отображения таблицы с опорными точками.

Для корректной привязки рекомендуется выбрать не меньше 4-х точек, расположенных равномерно по растру (ближе к углам). Выбирайте точки таким образом, чтобы вы смогли их опознать на векторном слое. Это могут быть выдающиеся части суши, например, мысы

(1). Выберите инструмент **Добавить точку** . Наведите курсор на первую точку и кликните левой кнопкой мыши. Появится окно ввода координат **Введите координаты карты**. Координаты точек можно вводить вручную, например, ставя опорные точки в узлах пересечения координатной сетки. Но мы используем другой вариант - возьмём координаты с подготовленного нами ранее геопривязанного векторного слоя. Нажмите **С карты** (2). Диалог привязки свернётся, и вам будет предоставлена возможность выбрать точку соответствия в области карты.



Приблизьтесь к соответствующей точке векторного слоя и поставьте опорную точку, кликнув на неё левой кнопкой мыши.

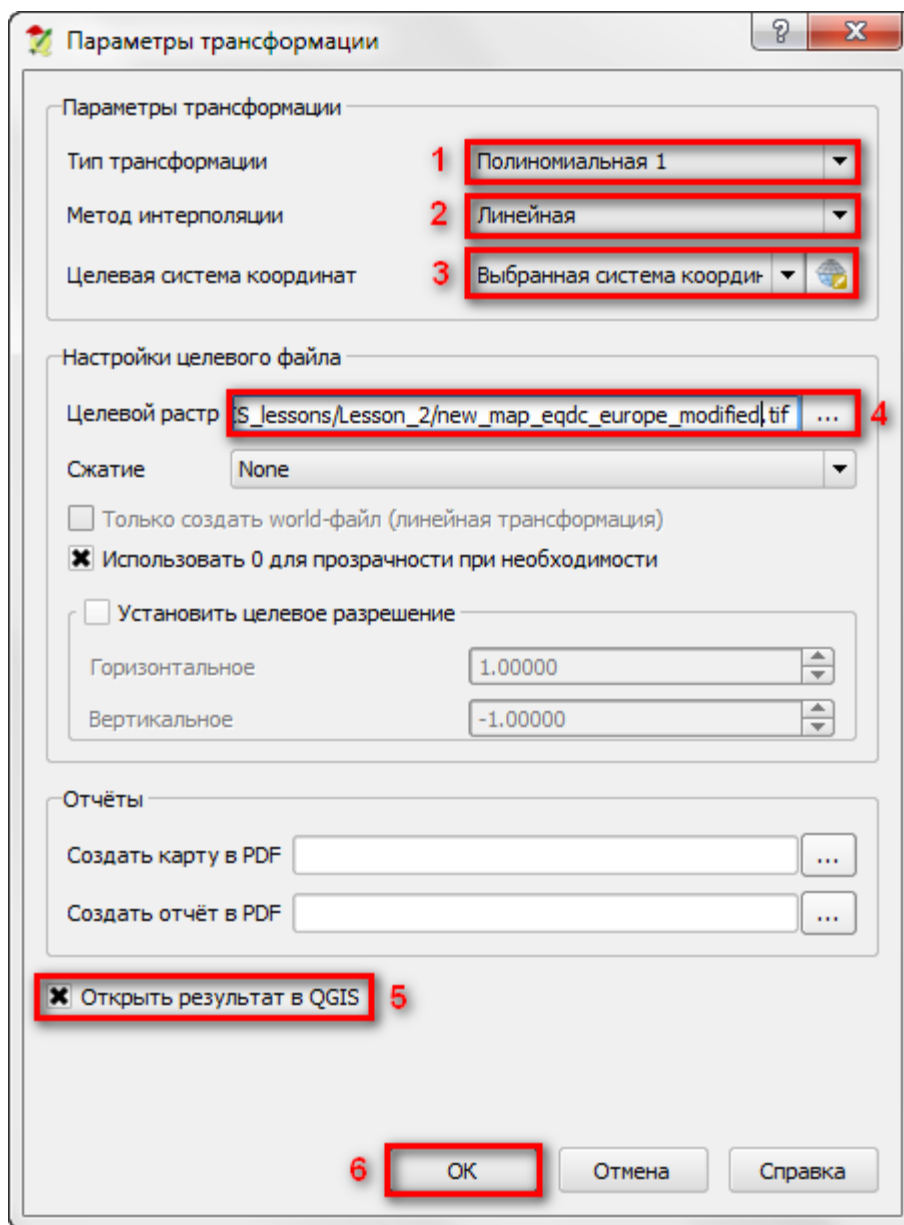


После того, как вы поставите точку на опорной карте, перед вами снова появится диалог привязки. Поля для ввода координат будут заполнены значениями X и Y – соответственно

координатами по долготе (X) и широте (Y), снятых вами с опорной карты. Подтвердите ввод, нажав **ОК**.

В нижней части диалога в таблице появится первая введенная вами точка. Аналогичным образом введите остальные 3 точки. Помните, что для успешной привязки опорные точки должны быть расположены равномерно по растру, желательно в углах карты.

Далее необходимо задать параметры трансформации растра: **Параметры\Параметры трансформации**. В диалоге в группе **Параметры трансформации** выбрать: **Тип трансформации** – *Полиномиальная 1* (1), **Метод интерполяции** – *Линейная* (2), **Целевая система координат** - *Europe\_Equidistant\_Conic*(3). В группе настроек **Настройки целевого растра** укажите название и путь выходного растра (4). Проверьте, что опция **Открыть результат в QGIS** включена (5). **ОК** (6).



После того, как закроется диалог, в таблице опорных точек в последних трёх колонках появятся ошибки привязки, рассчитанные в соответствии с выбранным методом трансформации.

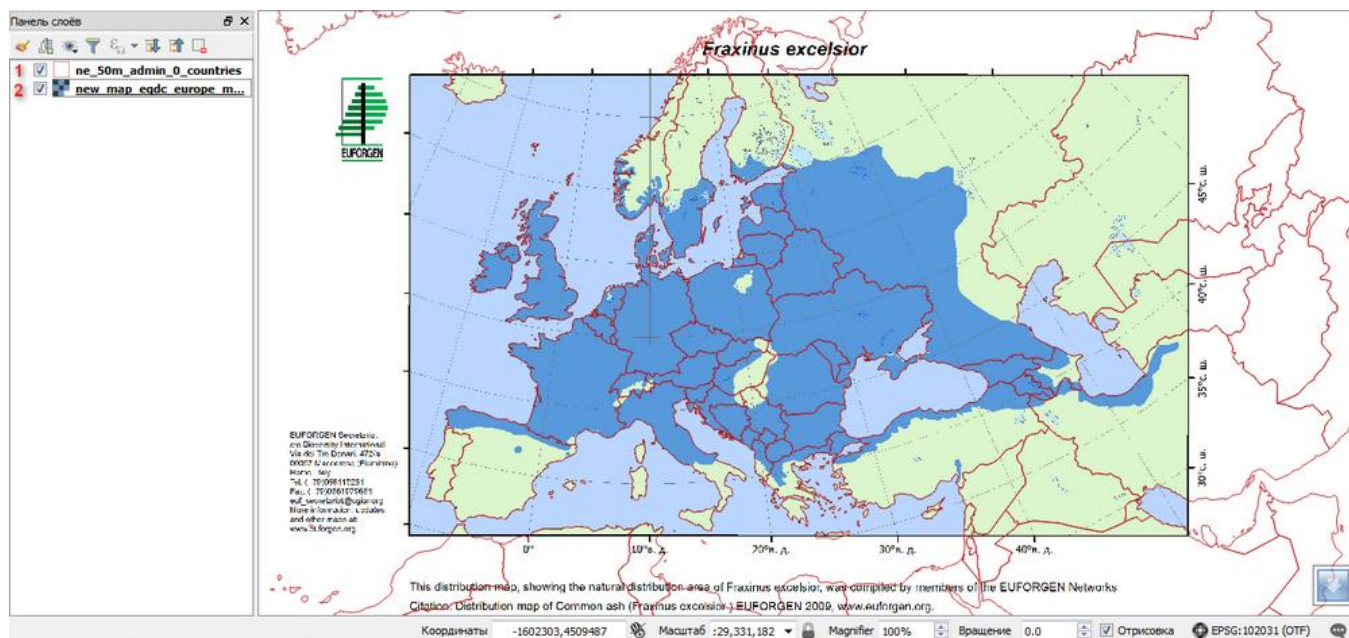
Видимый	ID	X источника	Y источника	X назначения	Y назначения	dX (пиксели)	dY (пиксели)	Невязка (пиксели)
	0	727.803	-263.066	-1.39326e+06	4.18365e+06	0.279167	-0.0629984	0.286187
	1	3172.78	-405.919	3.78104e+06	3.88e+06	-0.285821	0.0645001	0.293009
	2	3207.58	-1723.65	3.85493e+06	1.09075e+06	0.266558	-0.0601531	0.273261
	3	583.424	-1603.69	-1.70098e+06	1.34549e+06	-0.259903	0.0586513	0.266439

Рекомендуем контролировать значения ошибок в колонке **Невязка** с тем, чтобы ещё до трансформации растра выявить возможные ошибки в выборе опорных точек или вводе координат. Если ошибка невязки велика, то необходимо уточнить положение точек.

Редактировать положение точек можно с помощью инструмента **Переместить точку** . После его активации нужно навести курсор на точку и при зажатой левой клавише мыши начать её перемещение.

***Примечание.** Следует отметить, что самое сложное при геопривязке карты - выявить исходную проекцию геопривязываемой карты. Иногда исходную проекцию можно установить с помощью описания к карте. Если нет, - класс проекций при достаточном опыте устанавливается визуально, а более точный подбор проекции в пределах класса может осуществляться методом перебора проекций из библиотеки. При этом, критерием точности подобранной проекции может служить величина невязки в таблице опорных точек.*

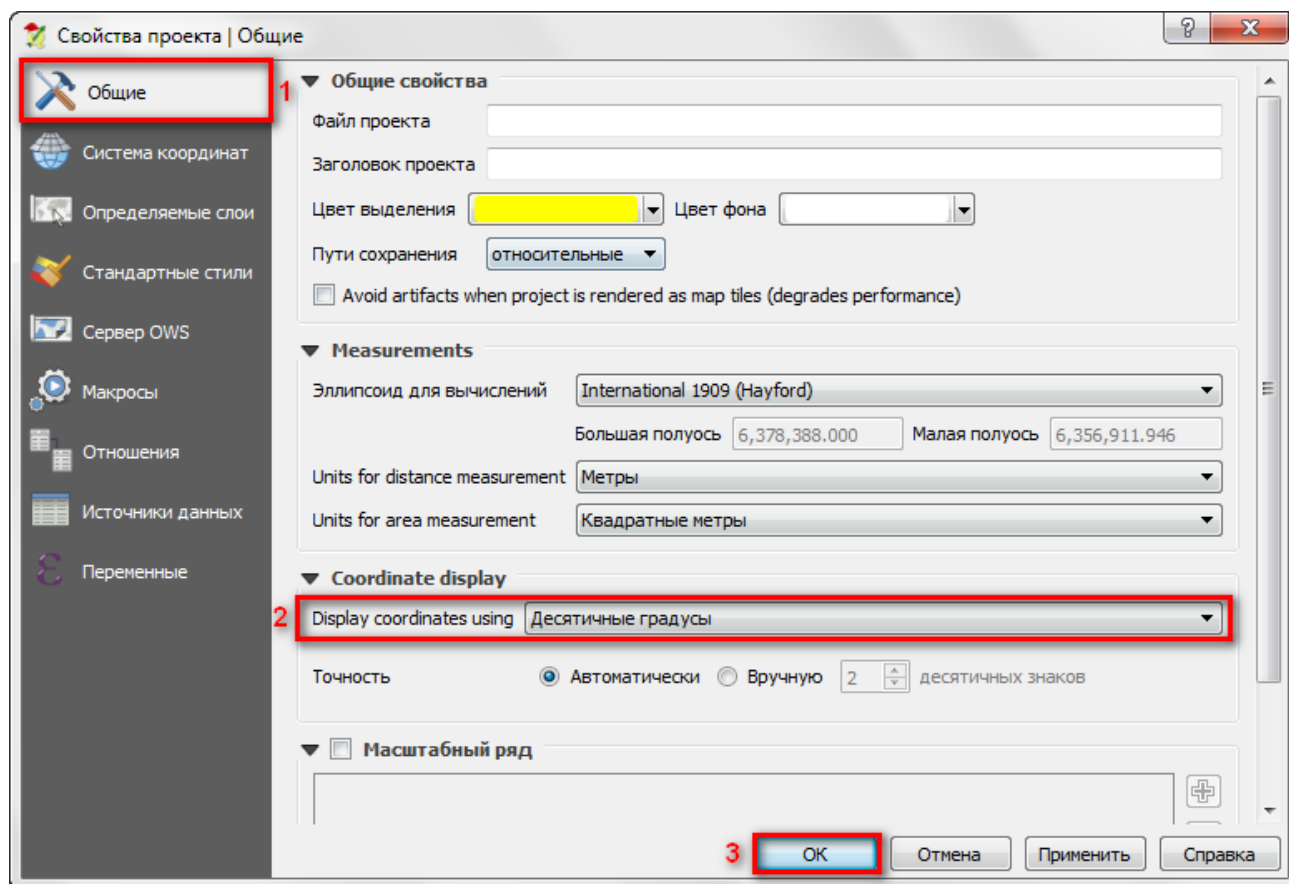
После того, как все точки будут установлены и отредактированы, нажмите на кнопку для привязки растра. Растр должен отобразиться в области карты. В панели слоёв поменяйте порядок слоёв таким образом, чтобы векторный слой административных границ (1) лежал на привязанном растре (2).



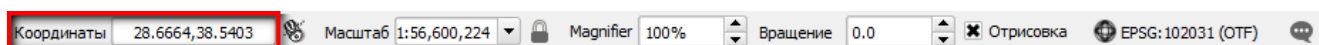
Качество привязки можно сравнить по тому, как ложатся границы независимого векторного слоя на границы карты, а также по значениям координат курсора в точках пересечения меридианов и параллелей карты. Для этого нужно поменять единицы отображения карты с метров на градусы. Координаты положения курсора отображаются в нижней строке области карты.

Координаты: -1378634, -219307 Масштаб: 1:56,600,224 Magnifier: 100% Вращение: 0.0 Отрисовка EPSG:102031 (OTF)

Для изменения единиц отображения карты с метров на градусы зайдите в диалог **Проекты | Свойства проекта**. Перейдите на вкладку **Общие** (1). В группе настроек **Coordinate Display** для опции **Display Coordinates using** поменяйте **Map units** (метры) на **Десятичные градусы** (2). Нажмите **ОК** (3).



Теперь мы можем видеть координаты в формате долгота/широта.



Наведите на какую-нибудь точку пересечения меридиана и параллели, заведомо посмотрев на значения их долготы и широты, которое можно найти за рамкой карты, и сверьтесь с координатами, отображаемыми в нижней строке области карты. В том случае, если они будут совпадать до десятых градуса, - можно считать, что привязка выполнена успешно.

Другой способ привязки – привязка по координатной сетке – описан в [приложении 4](#).

## Практикум 2.3. Векторизация областей интереса

### Задание:

Получение векторной границы распространения вида.

Материалы для выполнения задания ([скачать](#)):

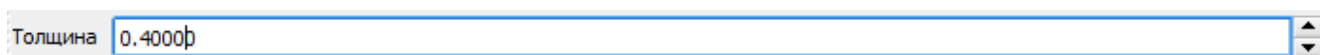
- Карта распространения ясеня *Fraxinus excelsior* на территории Европы в растровом формате с привязкой ([см. практикум 2.2](#)): *new\_map\_eqdc\_europe\_modified.tif*
- Векторный файл береговой линии: *ne\_50m\_coastline.shp* (+\*.shx, \*.dbf, \*.prj) (взят с сайта <http://www.naturalearthdata.com>)

## Работа в QGIS

Мы освоили ввод и геопривязку растровых данных. Теперь попробуем научиться создавать по ним векторные объекты.

Запустите QGIS. Добавьте на панель слоёв векторный слой *ne\_50m\_coastline*, а также привязанный растр карты распространения ясеня, который был получен в предыдущем задании ([см. практикум 2.2](#)).



Поменяйте ширину линии береговой черты, чтобы её лучше было видно на фоне карты. Для этого кликните на название слоя правой кнопкой мыши и выберите **Свойства слоя\вкладка Стил\Толщина обводки**. Поставьте значение *0.4*.



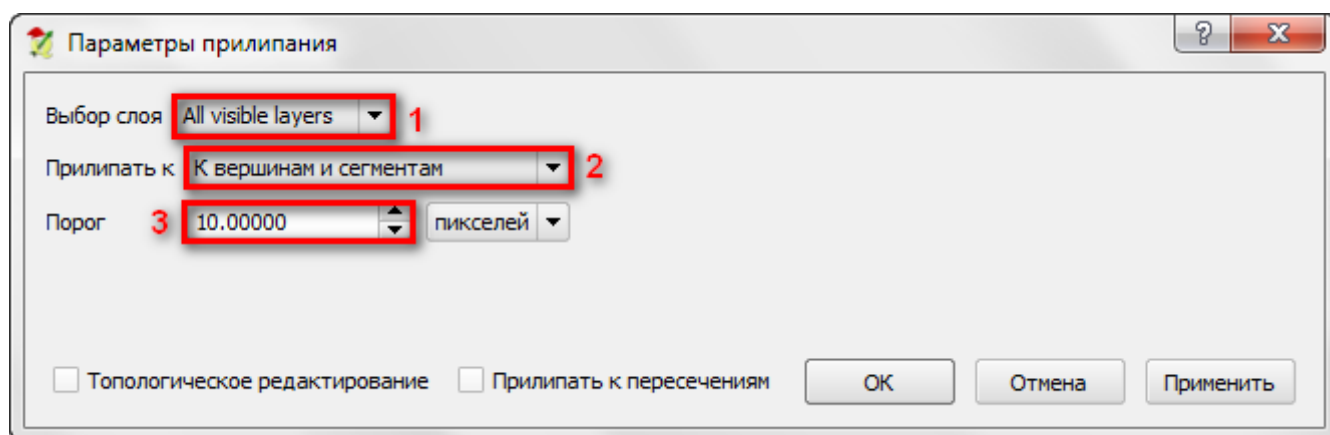
Создадим векторный слой ареала распространения ясеня: **Слой\Создать слой\Создать shape-файл...**

В диалоге **New Shapefile Layer** в группе настроек **Тип** выбрать **Полигон** (о типах векторных объектов [см. здесь](#)), нажать **ОК**, в новом диалоге **Сохранить слой как...** выбрать место хранения, задать имя shape-файла и нажать **Сохранить**. В панели слоёв появится созданный нами векторный слой, который пока не несет никакой информации.

Перед тем, как приступить к созданию контура распространения ясеня, подключим дополнительные инструменты: **Дополнительные инструменты оцифровки** и **Инструменты оцифровки** (о подключении панелей инструментов [см. приложение 1](#)). Пока что инструменты подключенных панелей не активны.

В панели слоёв выделите созданный ранее векторный слой, а на панели меню включите режим редактирования . Инструменты оцифровки станут активными. Включите режим трассировки . Она поможет автоматически проводить контур полигона вдоль береговой черты *ne\_50m\_coastline*. Предварительно инструмент трассировки необходимо настроить. Откройте диалог **Параметры прилипания** - главное меню **Установки\Параметры прилипания...** Настройте параметры, как на рисунке ниже.





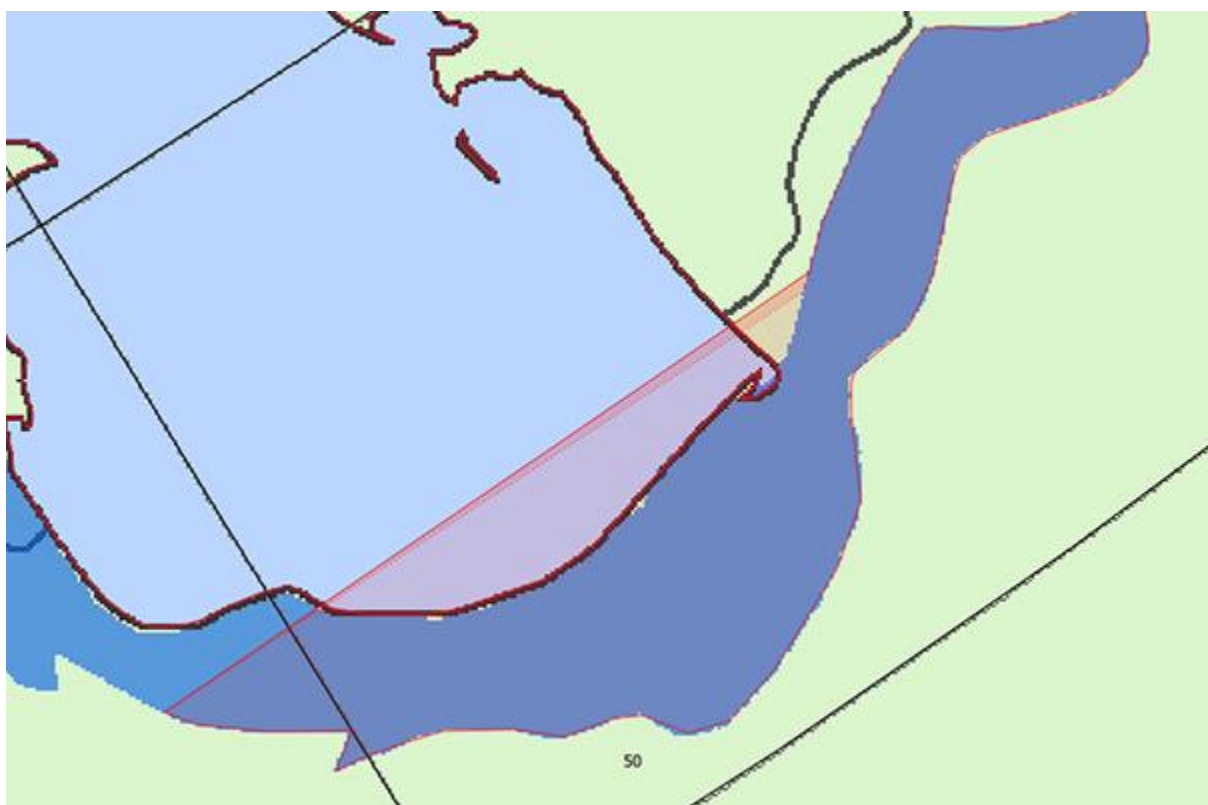
Таким образом, в процессе векторизации при создании смежной границы с контуром береговой черты, линия нового векторного слоя может быть автоматически трассирована строго по выбранным сегментам границы второго векторного слоя. Это значительно ускоряет векторизацию нового слоя и делает ее более точной.

Теперь можно приступить к созданию векторной карты ареала ясеня.

Приблизьтесь к месту на карте, откуда вы начнёте оцифровывать карту. Включите инструмент **Добавить объект**.



Курсор должен превратиться в прицел. Векторные точки (узлы полигона) ставятся кликами левой кнопки мыши.

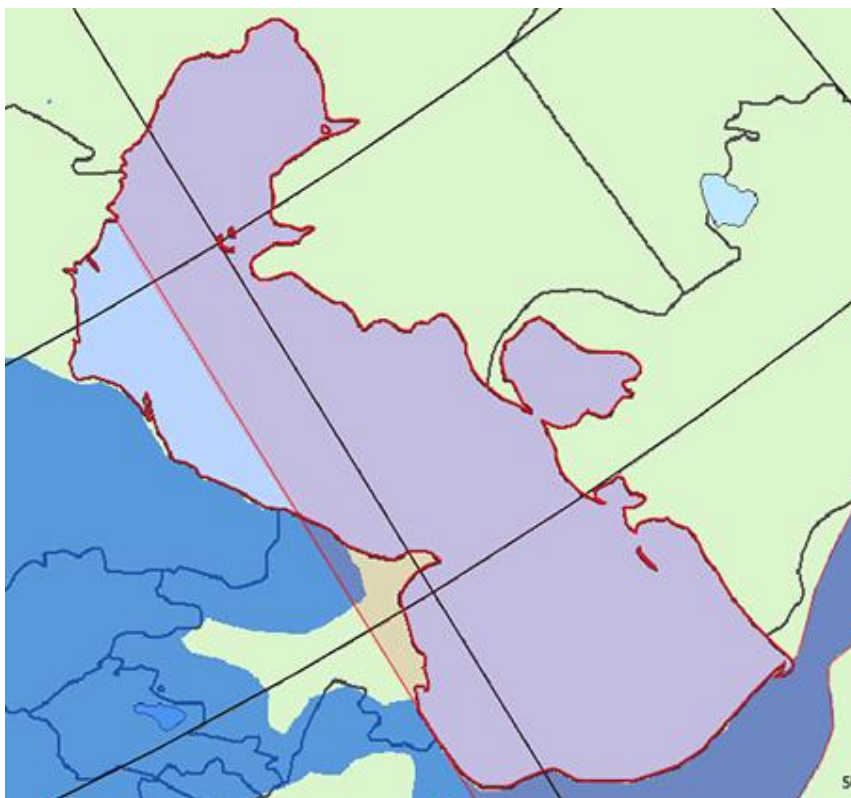




Удаление предыдущего узла – клавиша **BackSpace**. Завершение полигона – клик правой кнопкой мыши. Отмена создания объекта – клавиша **ESC**.

Когда вы дойдёте до береговой черты, поставьте первую точку на линию береговой черты.

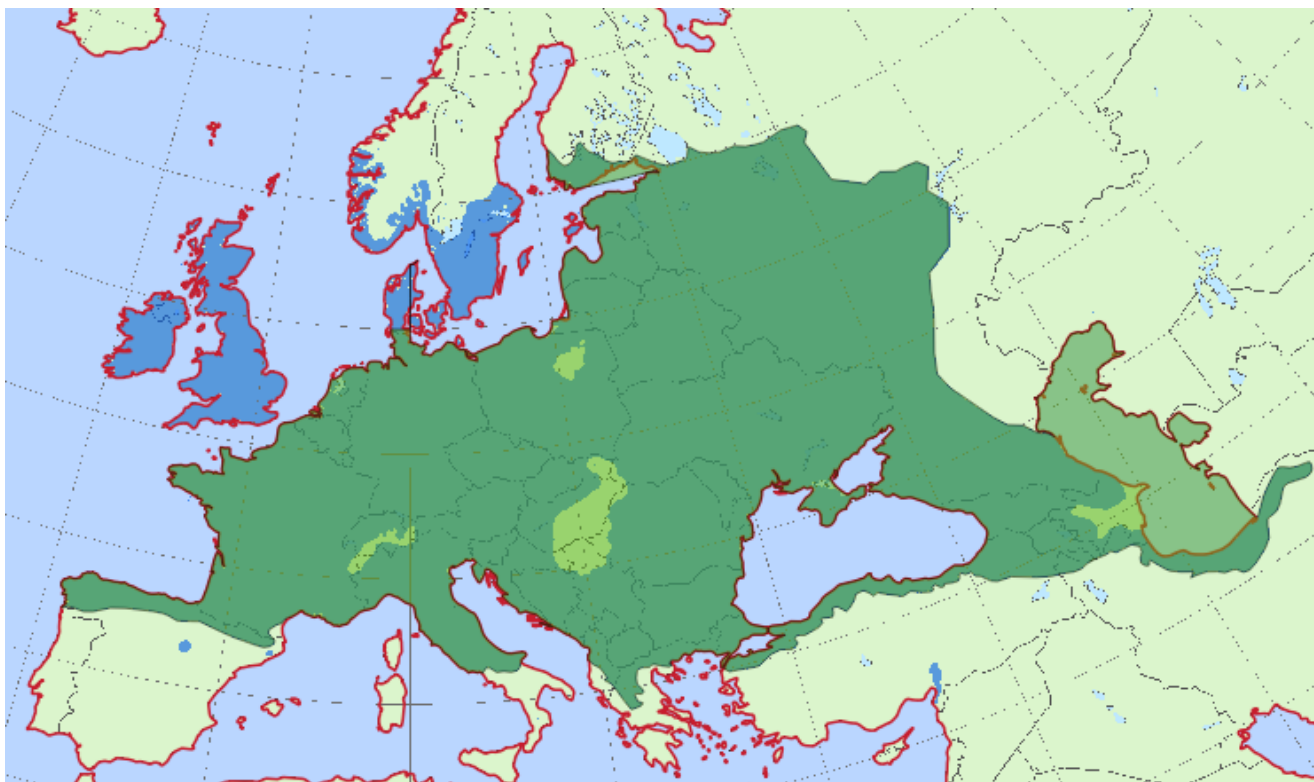



Затем отдалите немного карту и начните вести курсор вдоль линии. Он должен “подцепляться” к линии и автоматически обрисовывать её. Вам нужно только ставить промежуточные точки и контролировать, чтобы курсор “не терял” линии.



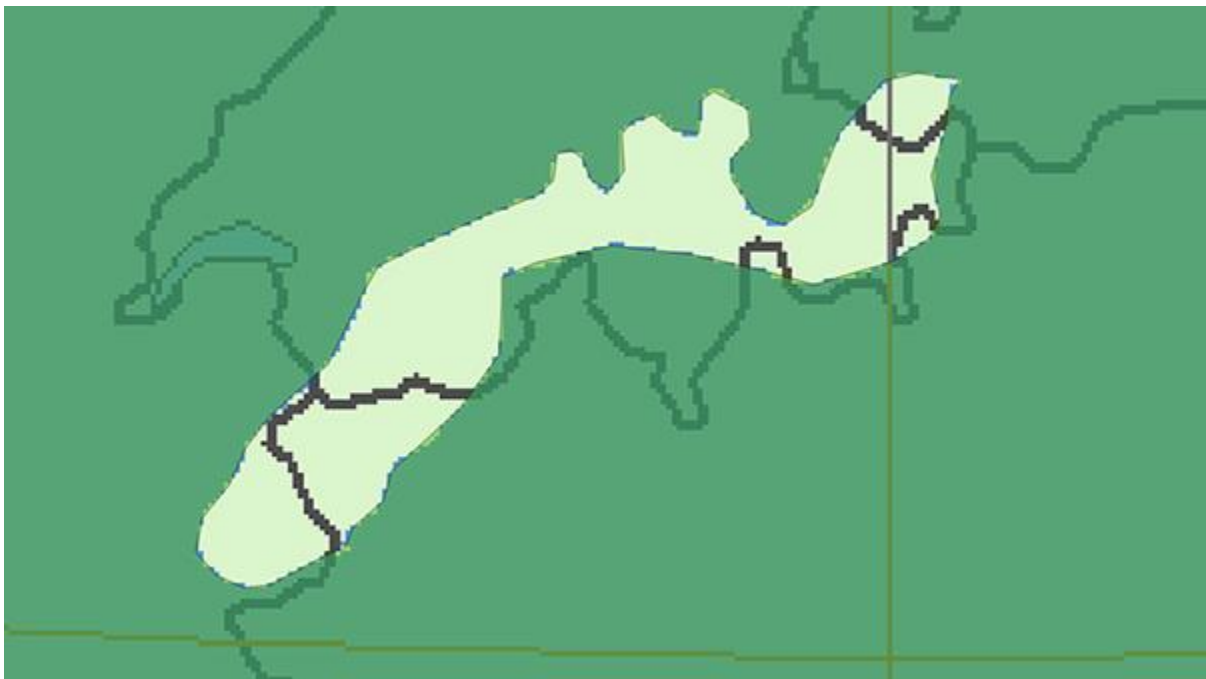
Создать полигон на весь ареал можно в несколько подходов, то есть сначала создать несколько смежных полигонов, а потом объединить их все вместе в один полигон. После того, как создание полигонов было завершено, нужно с помощью инструмента выбора объектов  и зажатой клавиши **ctrl** выбрать последовательно все полигоны, которые требуется объединить, а затем выбрать инструмент **Объединить выделенные объекты**  из дополнительных инструментов оцифровки.

После того, как вы нарисуете первый контур, сохраните изменения. Не забывайте время от времени повторять эту процедуру. Задайте слою 50% прозрачности (**Свойства слоя\вкладка Стил**). Вы увидите, что внутри слоя очагами присутствуют территории, на которых ясень не произрастает.



Необходимо исключить эти области. Для этого воспользуемся инструментом **Добавить кольцо** , который находится на панели дополнительных инструментов оцифровки.

Приблизьтесь к объекту и начните обрисовывать его границу таким же образом, как и при создании полигона.



Оцифруйте все зоны произрастания ясеня.

Не забывайте сохранять результаты оцифровки!

После завершения оцифровки выключите режим редактирования, деактивировав

пиктограмму .

В итоге, должен получиться векторный слой, покрывающий всю территорию, занятую ясенем. Этот векторный слой представляет ареал ясеня в реальном ГИС формате. Слой можно накладывать на другие векторные и растровые карты в ГИС, менять его стилизацию - например, окрашивать в различные цвета. В следующем упражнении мы используем созданный полигональный векторный слой ареала ясеня для наложения его на карты экологических факторов среды и количественного определения экологических амплитуд ясеня по отношению к лимитирующим его распространение экологическим факторам среды.

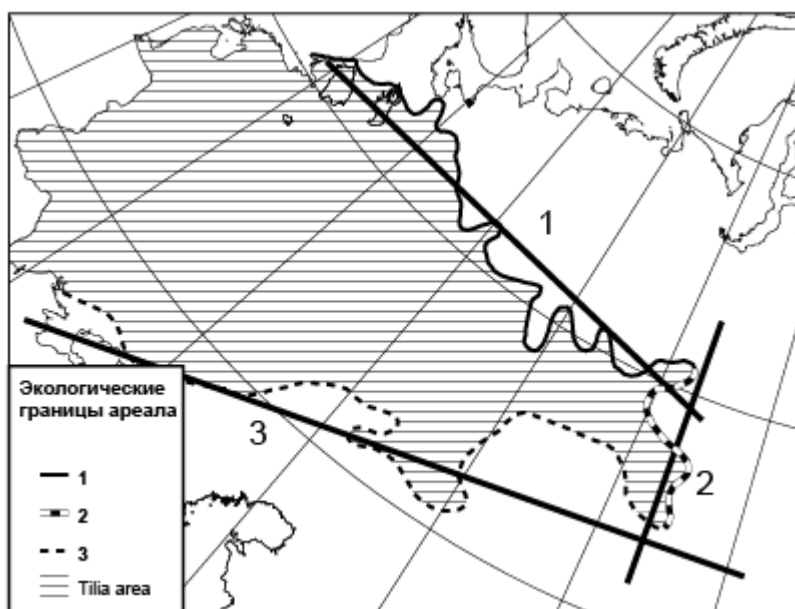
### Тема 3. Эколого-географический анализ распространения биообъекта

Эколого-географический анализ распространения биообъекта включает:

- 1) выявление экологических факторов среды, лимитирующих распространение биообъекта,
- 2) количественную оценку экологических амплитуд (зон толерантности) биообъекта по отношению к каждому лимитирующему фактору.

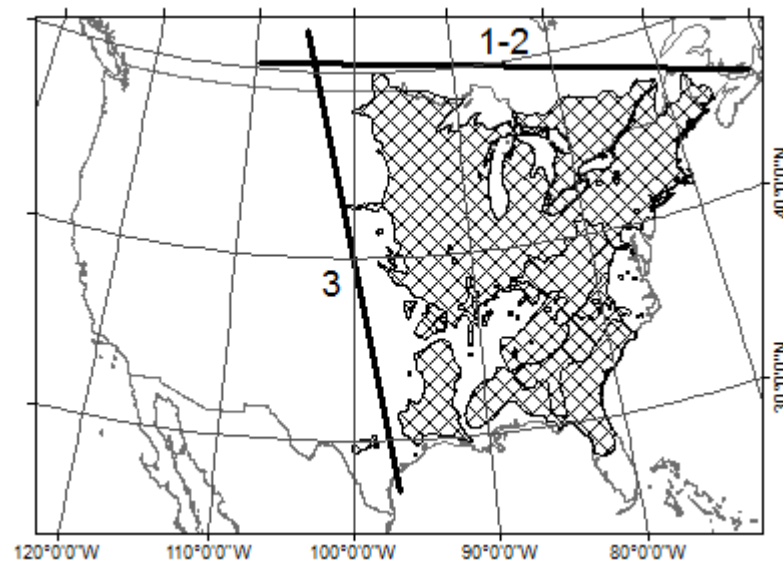
#### 3.1. Выявление факторов, лимитирующих распространение биообъекта.

Распространение вида на разных участках границ ареала лимитируется разными экологическими факторами среды. Например, северные границы ареалов многолетних видов растений в Евразии определяются недостатком сумм активных температур за вегетацию (1). Северо-восточные и восточные границы ареалов на макроконтинентальном уровне - преимущественно низкими зимними температурами (2). Продвижение растений на юг и юго-восток преимущественно сдерживается недостатком увлажнения (3). На рисунке приведен ареал липы сердцелистной:



На разных территориях и континентах северные, южные, восточные и западные границы ареала могут определяться разными экологическими факторами. Это связано с особенностями распределения и направлением градиентов факторов среды.

Для сравнения, - в Северной Америке суммы активных температур и низкие зимние температуры одновременно определяют северную границу распространения лип ( граница 1-2), а недостаток влагообеспеченности сдерживает распространение лип в западном направлении (граница 3). Западный градиент уменьшения количества осадков в Северной Америке связан с препятствием, создаваемой горной системой Кордильер на пути осадков, приходящих с Тихого океана.

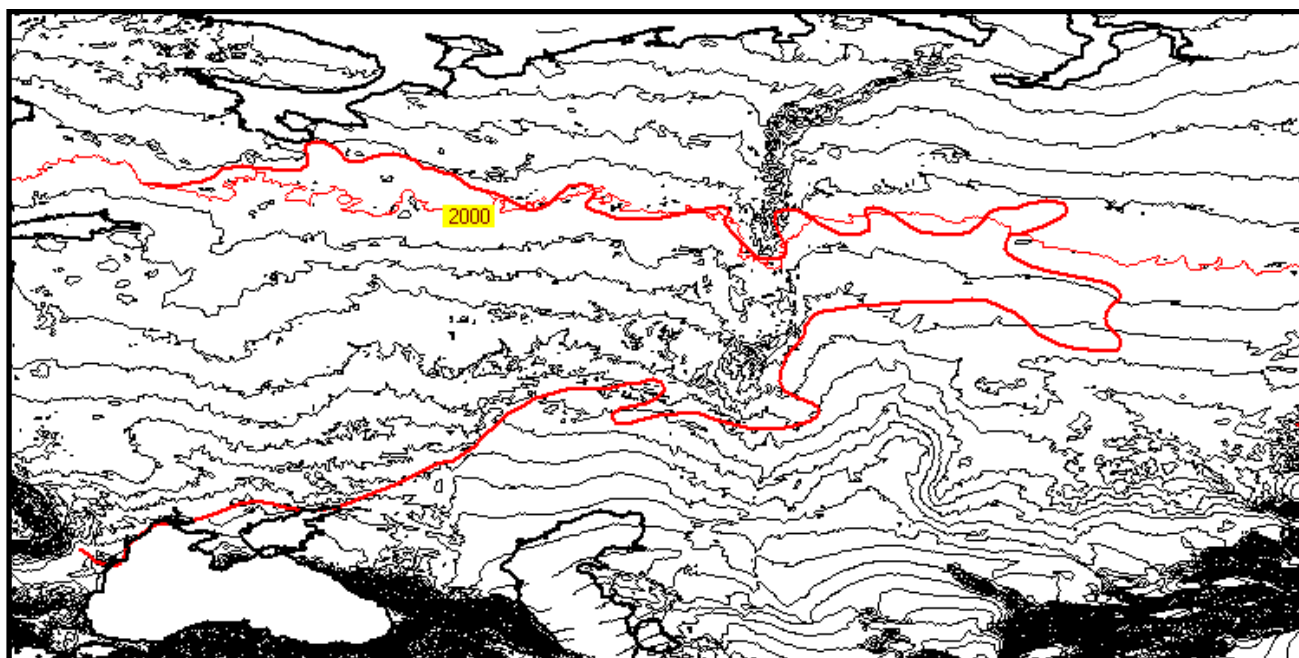


Решение задачи выбора лимфакторов облегчается тем, что распространение близких видов и экотипов определяется сходными наборами экологических факторов среды. Например, для многолетних растений бореальной зоны лимитирующими их распространение абиотическими факторами являются, прежде всего, суммы температур за вегетацию, низкие зимние температуры, недостаток увлажнения. Низкие зимние температуры могут приводить к гибели растений от вымерзания. Недостаток тепла за период вегетации не позволяет растениям сформировать зрелые семена и как следует подготовиться к зиме. Недостаток увлажнения приводит к гибели растений от засухи.

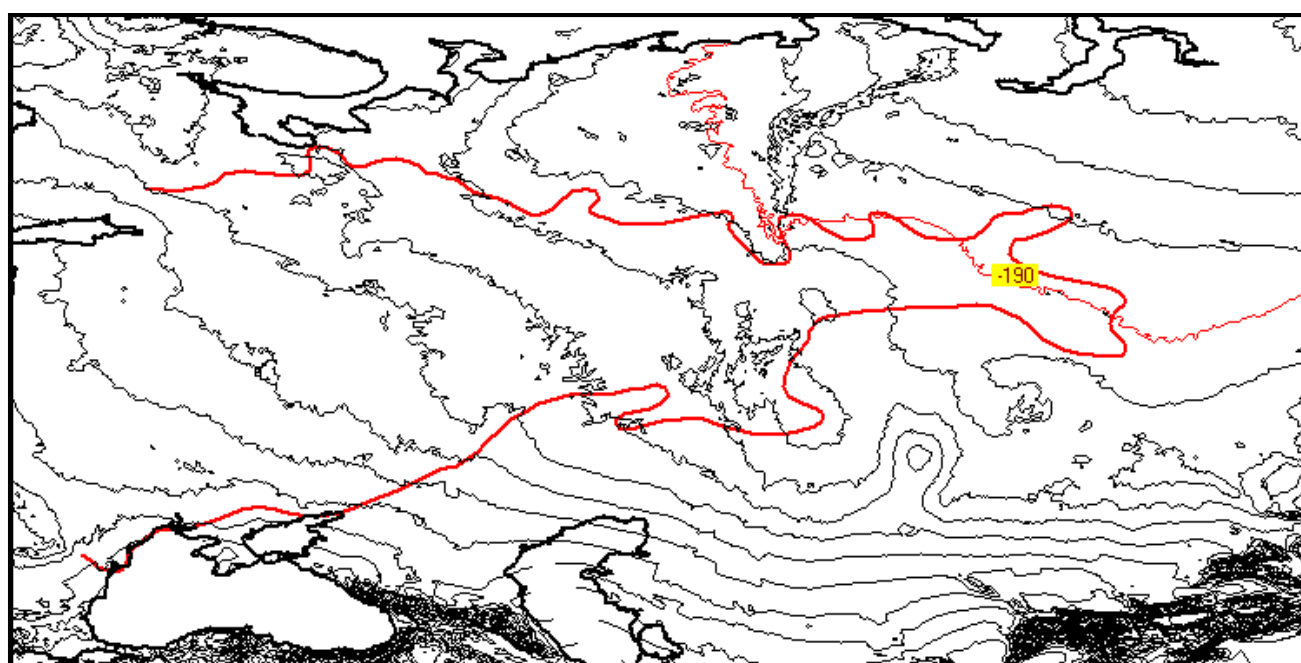
Для однолетних яровых видов растений лимитирующими являются недостаток сумм температур за вегетацию и дефицит увлажнения. При этом лимитирующее значение зимних температур теряется, поскольку яровые однолетние растения зимуют в фазе семян, которые способны переносить температуры значительно более низкие, чем те, которые могут случаться в самые экстремальные зимы.

Подтверждение правильности выбора фактора, лимитирующего распространение конкретного вида, может быть удостоверено наложением ареала анализируемого вида на карты предполагаемого лимитирующего фактора среды, значения которого представлены в виде изолиний. Если изолинии лимфактора совпадают с границей ареала, то это является существенным подтверждением того, что именно этот фактор лимитирует распространение вида на данном фрагменте ареала.





Сопоставление карты ареала липы сердцевидной с изолиниями сумм активных температур выше 0С за вегетационный период подтверждает обусловленность северных границ ареала липы условиями теплообеспеченности вегетационного периода.



Сопоставление карты ареала липы сердцевидной с изолиниями январских температур показывает, что воздействие низких зимних температур обуславливает в Евразии не северную границу распространения липы, как это часто считается, а только северо-восточную.

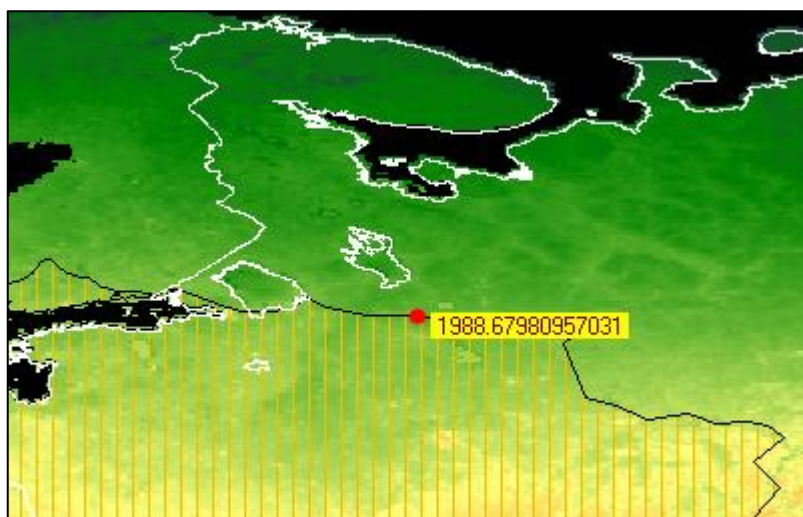
Следует учитывать, что изолинии разных факторов среды могут идти симметрично. Поэтому соответствие границы ареала изолинии некоторого фактора среды является **необходимым** условием подтверждения того, что именно этот фактор может лимитировать распространение вида на данном участке границы ареала, - **но не достаточным**. Правильное решение при выборе факторов лимитирующих распространение вида может принять эксперт в области биологии и экологии данного вида. Иногда для принятия решения требуется проведение специального

исследования. Например, лимитом продвижения липы на север в Великобритании может являться как недостаток сумм температур за вегетацию, обуславливающий проблемы с созреванием семян и подготовкой растений к перезимовке, так и низкие температуры в период цветения липы, которые препятствуют завязыванию всхожих семян. – Выбор из этих двух факторов нетривиален даже для эксперта и требует проведения специального научного исследования.

### **3.2. Оценка экологических амплитуд биообъекта: экстракции значений по маскам объектов**

Определение эколого-географических амплитуд растений по отношению к лимитирующим их распространение экологическим факторам среды осуществляется путем сопоставления ареала вида с картой экологических факторов среды. Геоинформационные технологии предоставляют различные процедуры и возможности количественной оценки экологических амплитуд видов.

#### **3.2.1. Техника кликинга**



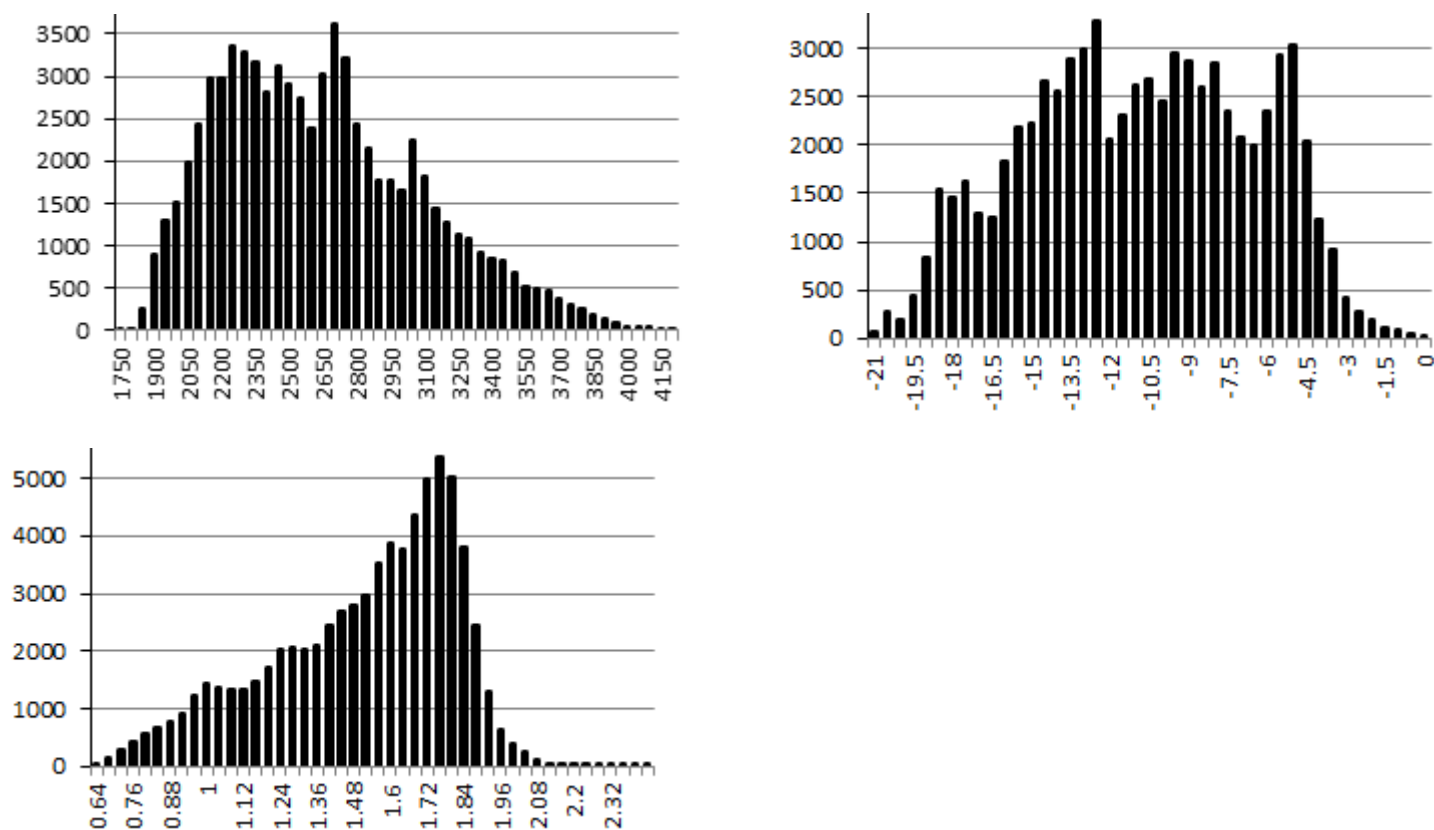
Наложив на растровую карту сумм температур карту ареала можно проанализировать северную границу ареала инструментом пиксельная пипетка, снимая количественные значения с карты сумм температур непосредственно вдоль северной границы ареала. Усреднение полученных значений позволяет получить приблизительное среднее значение лимита распространения вида по суммам температур за вегетацию.

#### **3.2.2. Гистограмма эколого-географической амплитуды вида**

Геоинформационные технологии позволяют снять значения с каждой из клеток растровой экологической карты, попадающих в площадь ареала, и представить их в виде гистограмм.

На рисунке ниже представлены эколого-географические амплитуды липы сердцелистной снятые в пределах ее ареала в Восточной Европе с растровых карт сумм активных температур (а), карт январских температур (б), карте индекса увлажнения (в). На оси абсцисс представлены диапазоны значений экологических факторов, а ось ординат показывает количество ячеек растровой карты, входящих в определенный диапазон значений экологического фактора.

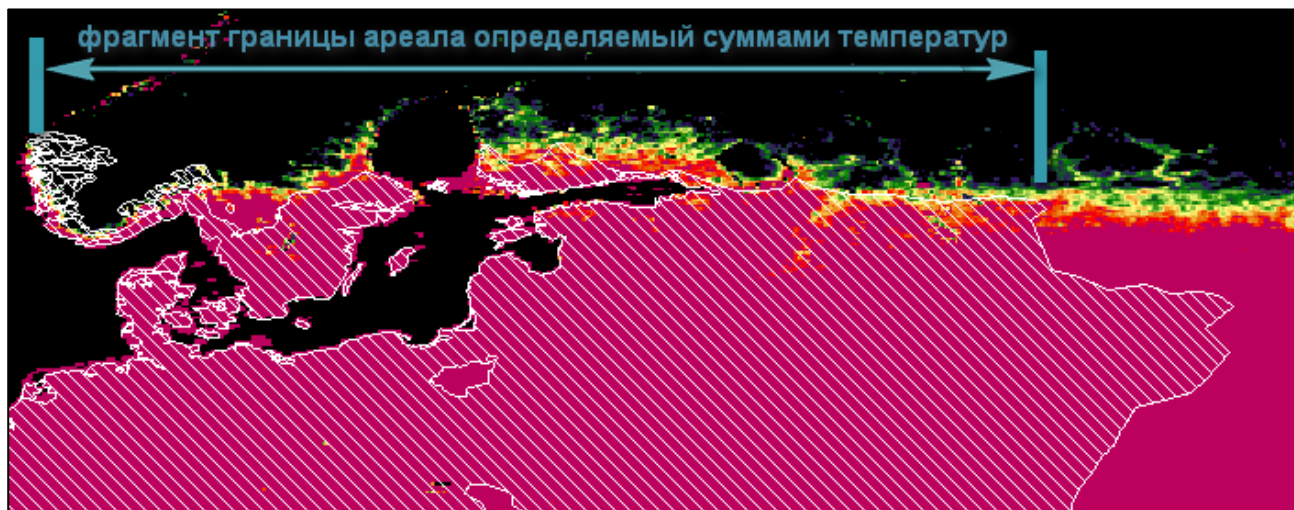
Такие гистограммы, снятые по площади ареала с карт лимитирующих распространение вида экологических факторов среды, представляют по сути эколого-географические амплитуды (ниши) вида.



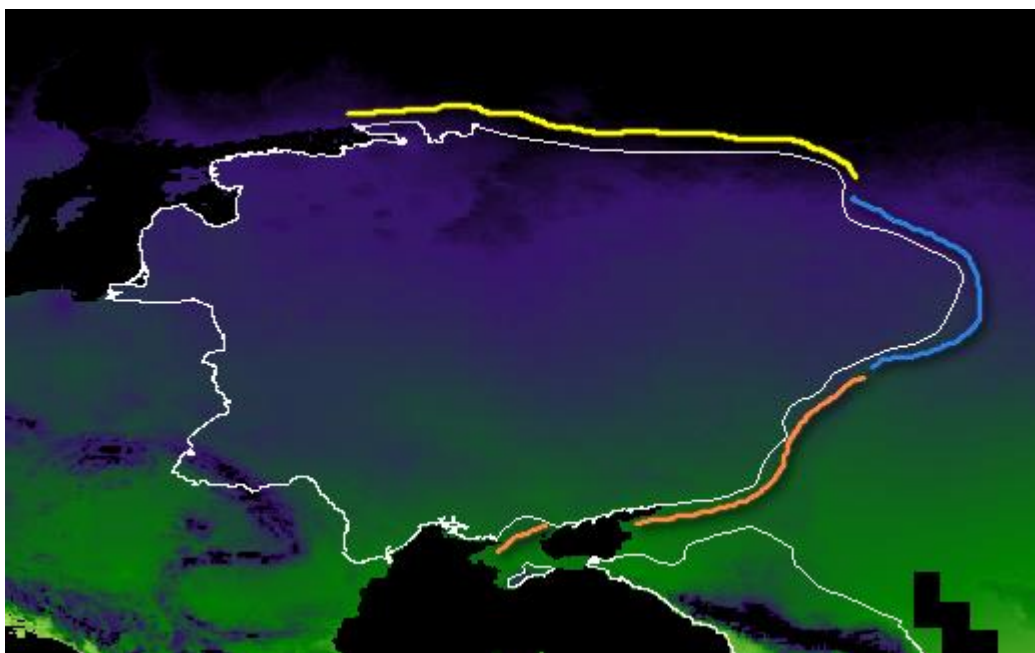
Некоторую сложность использования эколого-географических амплитуд при моделировании может представлять выбор пограничных значений факторов. Следует учитывать, что конкретно пограничные значения амплитуды экологического фактора в общем массиве значений экологического фактора, снятых с клеток раstra экологической карты по всей площади ареала, составляют незначительное количество. При этом минимальные и максимальные значения эколого-географических амплитуд могут оказаться в действительности экстрагированными с экстразональных пикселей ареала. Экстразональность некоторых участков ареала может быть, в частности, связана с включением в границы ареалов небольших внутренних областей, на которых вид в действительности не встречается (например, области высокогорий). При генерализации границ ареала они могут войти в общую площадь. При проникновении влаголюбивых видов в пределы аридной зоны по поймам рек генерализованная карта ареала может захватить и часть аридных территории, на которой вид в действительности не встречается. При экстракции значений с этих участков на гистограмме могут возникать шумы. Наличие подобных шумов создает сложности при определении пограничных значений лимитирующих факторов по гистограмме снятой со всей площади ареала. Поэтому оптимальным может являться способ экстракции значений экологических факторов не со всей площади ареала, а конкретно с фрагментов границ ареала, определяемым тем или иным лимитирующим фактором.

### 3.2.3. Экстракция значений лимитирующих факторов по экологическим фрагментам границ ареала

Использование данной техники предполагает предварительный выбор фрагментов ареала, определяемых тем или иным лимфактором. Визуальное подчеркивание соответствующих фрагментов ареала производится стретчиванием палитры – то есть подведением самых контрастных градаций палитры к пограничным значениям лимитирующего фактора (см. рисунок ниже).



Фрагменты границ ареала, определяемые каждым лимитирующим фактором, отдельно векторизуются. Экстракция значений каждого лимфактора проводится в таком варианте не по всей площади ареала, как в предыдущей технике, а только по **линии** границы, определяемой соответствующим фактором. Для ареала ясеня обыкновенного на рисунке ниже желтой линией показана граница распространения вида, определяемая фактором теплообеспеченности; синяя линия показывает границу ареала, определяемую градиентом зимних температур; оранжевая – границу, определяемую нарастанием аридности.



Геоинформационные технологии позволяют снять значение с каждого из пикселей экологического растра, приходящихся на линию экологического фрагмента границы ареала.



Высчитываются средние значения лимфакторов по пограничным пикселям и именно их принимают за пограничные значения экологических амплитуд вида.

### **Практикум 3. Выявление экологических факторов, лимитирующих распространение ясеня и оценка его экологических амплитуд**

#### **Практикум 3.1. Выявление экологических факторов среды, лимитирующих распространение ясеня**

##### **Задание:**

Построить изолинии по трём растрам экологических факторов

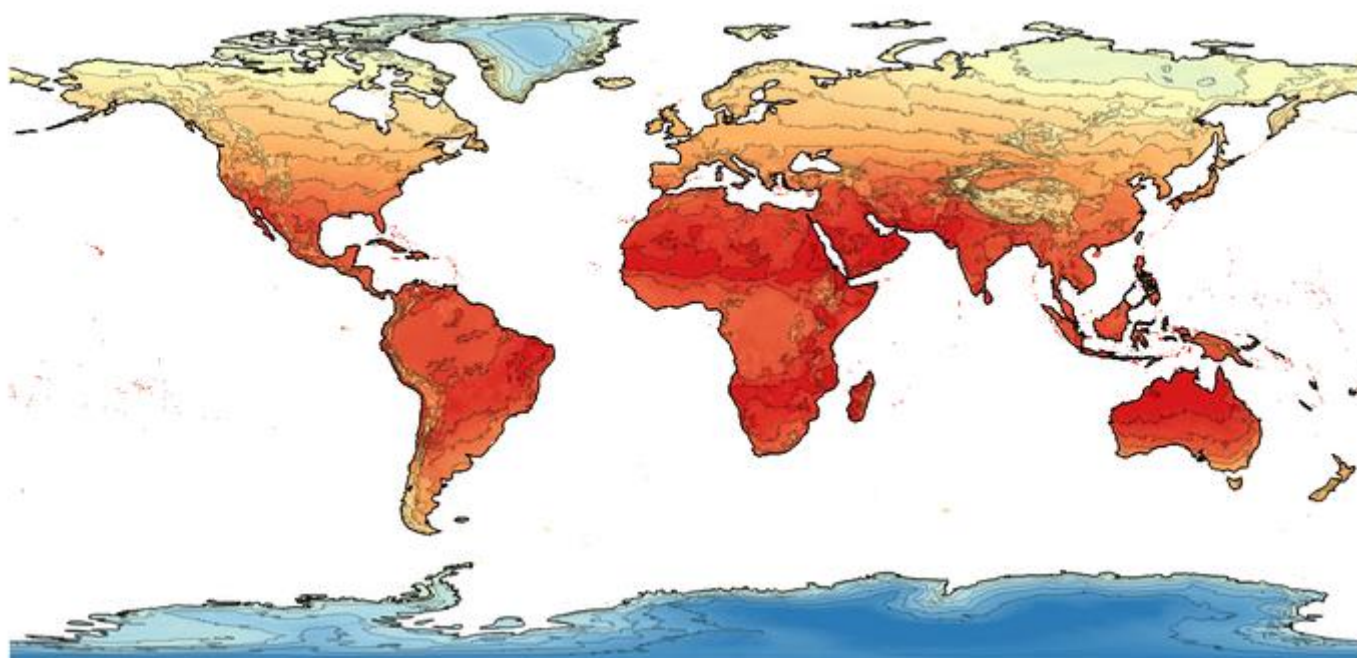
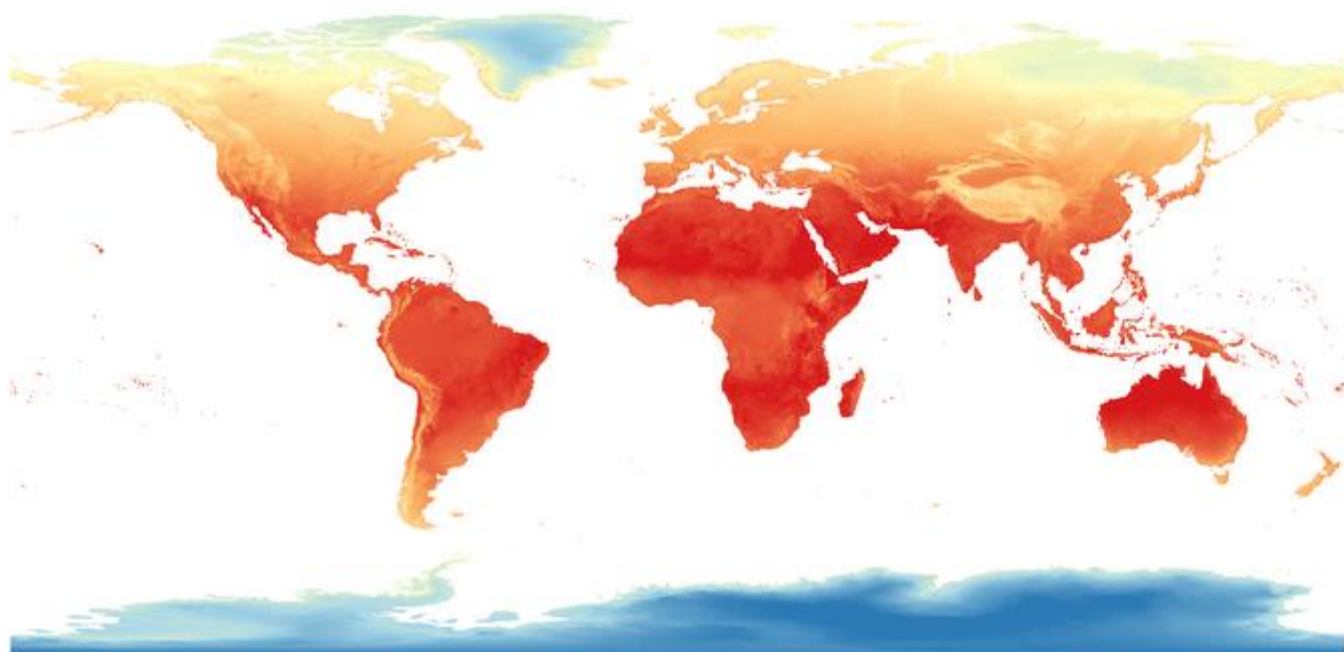
##### **Материалы для выполнения задания ([скачать](#)):**

- Растр сумм эффективных температур воздуха выше 10°C за период вегетации: *SUM\_T\_above10.tif*;
- Растр средних январских температур: *t01.tif*;
- Гидротермический коэффициент Селянинова: *GTK.tif*;
- Векторный файл ареала распространения ясеня: *Fraxinus\_excelsior\_EUFORGEN.shp* (\*.shx, \*.dbf, \*.prj);
- Векторный файл береговой черты: *ne\_50m\_coastline.shp* (\*.shx, \*.dbf, \*.prj).

С помощью этого задания мы научимся строить изолинии по растровым данным.

Для первичного анализа территории, потенциально пригодной для произрастания ясеня, можно воспользоваться методом изолиний. Изолиния – это линия, каждая точка которой имеет постоянное значение. Изолинии позволяют наглядно отобразить пространственное распределение какого-либо явления (температура – изотермы, давление – изобары, высоты рельефа местности – изогипсы и т.д.). Попробуем с помощью этого метода определить возможные лимиты трёх экологических факторов: сумм эффективных температур воздуха выше 10°C за период вегетации, гидротермического коэффициента, средней температуры самого холодного месяца (январь).

Изолинии могут быть построены на основе растров, значения пикселей которых хранят физические характеристики рассматриваемых экологических факторов. При заданном шаге, линией будут соединяться пиксели с одинаковыми значениями. Допустим, мы хотим построить изотермы через каждые 10 градусов. Это значит, что на выходе мы получим линии, соединяющие точки равных значений, а разница между двумя соседними линиями будет составлять 10 градусов.

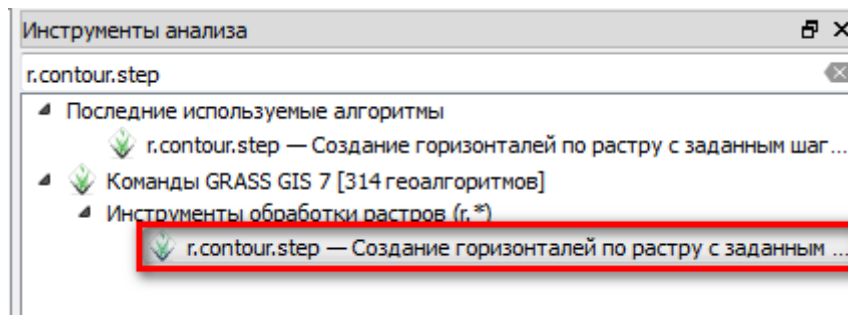


Запустите программу и добавьте в проект 3 растровых слоя *SUM\_T\_above10.tif*, *t01.tif*, *GTK.tif* и векторный слой *Fraxinus\_excelsior\_EUFORGEN.shp*. Настройте отображение слоёв (про настройку отображения [см. практикум 1](#)).

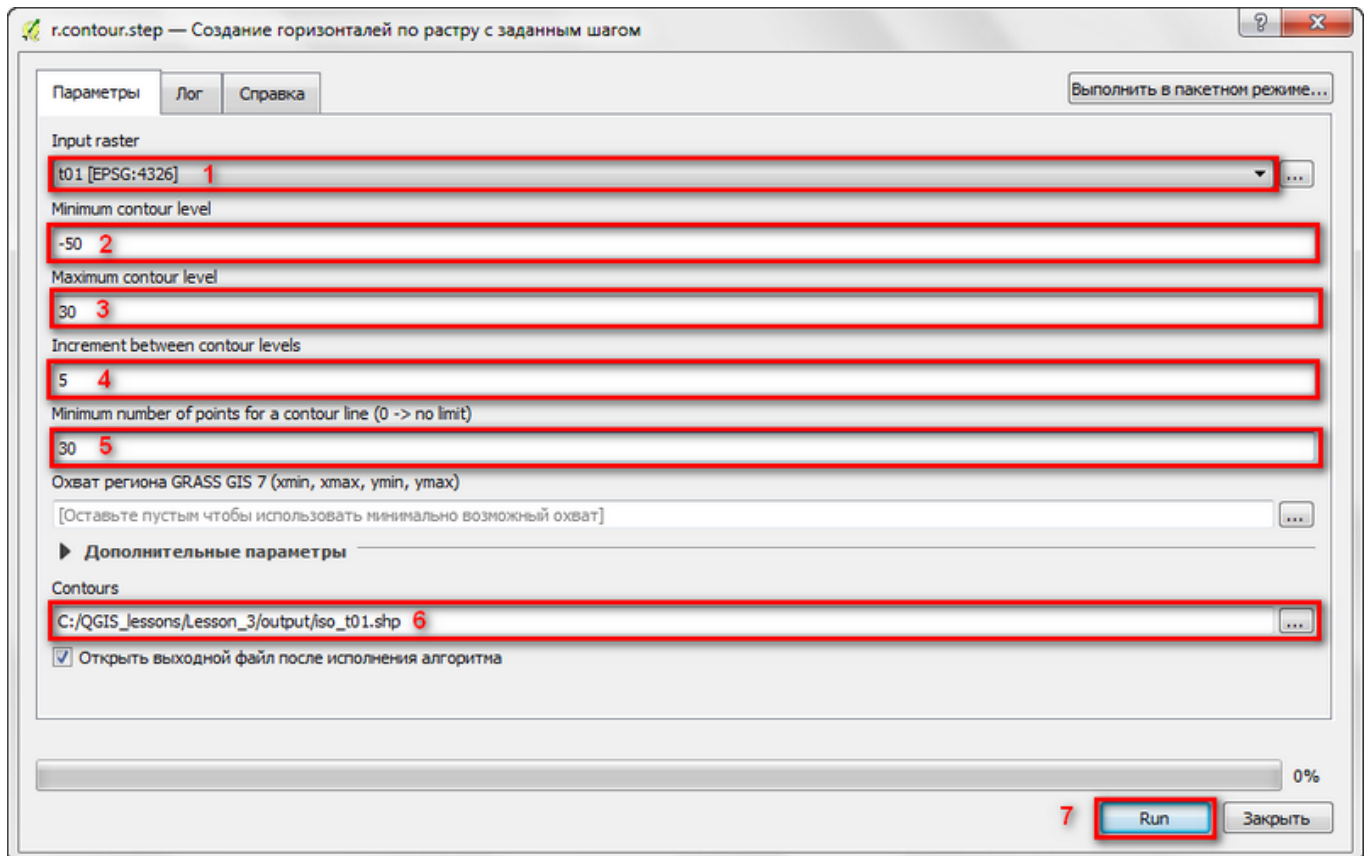
Построим изолинии для одного из загруженных слоёв: *t01.tif*. В QGIS имеется инструмент построения изолиний **Создать изолинии (Растр\Извлечение)**. Мы же воспользуемся аналогичным инструментом с расширенным набором настроек из набора ГИС GRASS.

Через панель меню **Анализ данных** выберите пункт **Панель инструментов**. В строке поиска наберите *r.contour.step*.



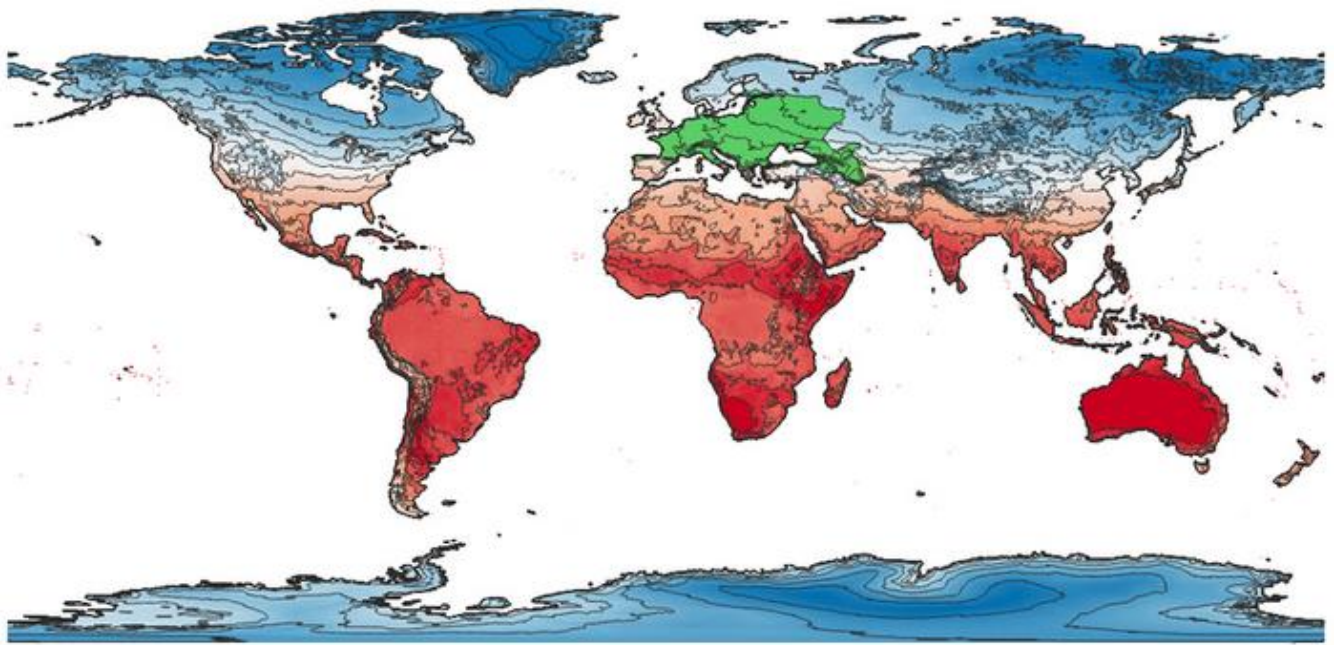


Дважды кликните по результату поиска левой кнопкой мыши. Перед вами появится диалог **r.contour.step – Создание горизонталей по растру с заданным шагом**.



Из выпадающего списка задайте входной растр *t01(1)*. Введите минимальное (2) и максимальное (3) значение горизонталей. Задайте шаг (4), разницу между двумя соседними горизонталями. Укажите минимальное число точек для создания линии горизонтали (5). Если число будет ниже порогового значения – линия не будет создана. Этот параметр позволяет нам частично генерализовать выходной векторный слой изолиний (то есть избавиться от лишних линий, достаточно малых для отображения). Пропишите путь для конечного результата (6).

Полученный результат появится в панели слоёв под названием *Contours*.

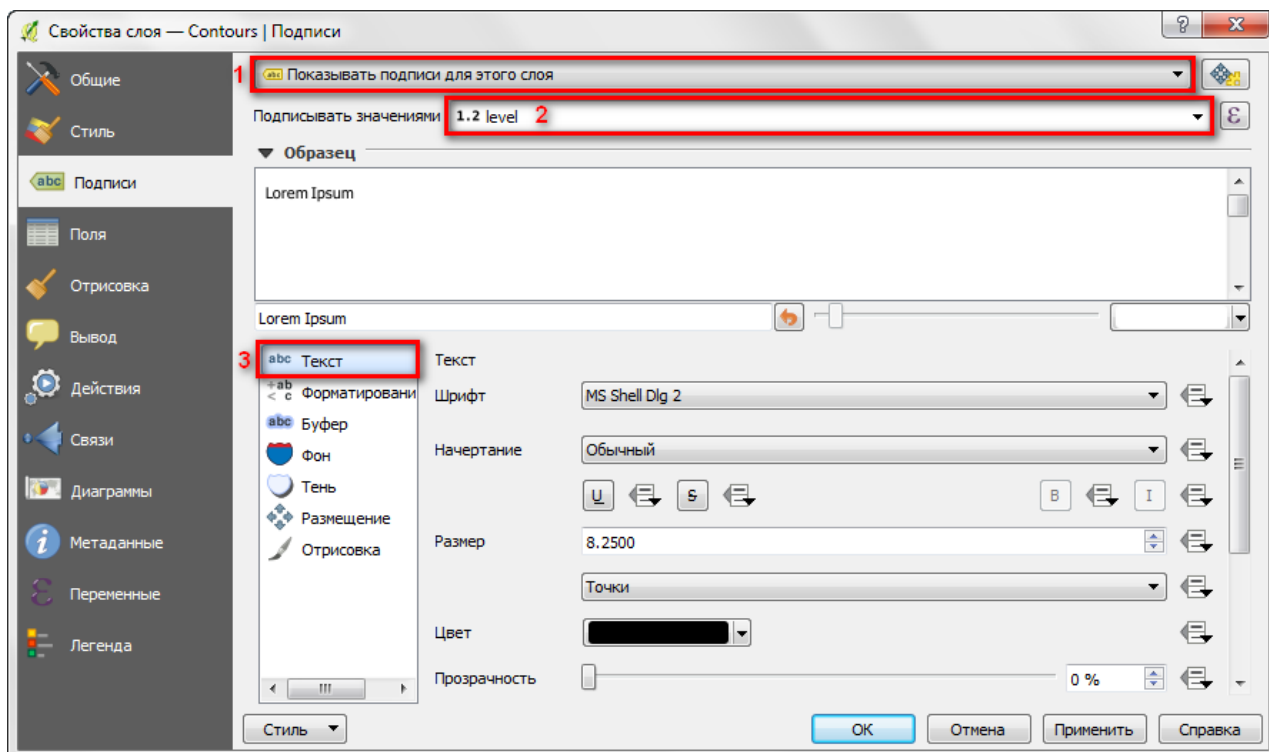


Увеличьте карту до Европы. Какими лимитирующими значениями изотерм определяется ареал распространения ясеня на востоке?

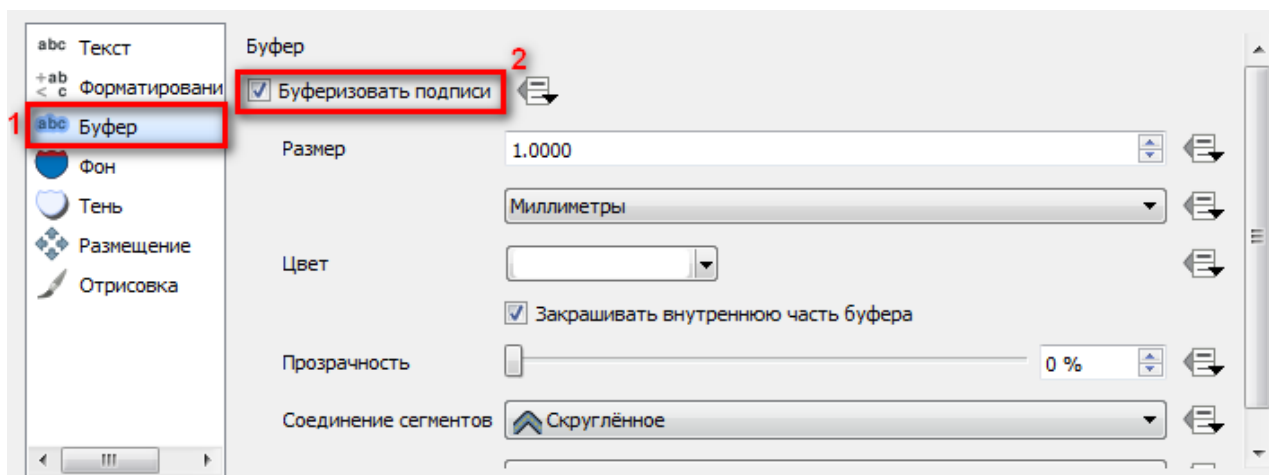
Для того, чтобы посмотреть значение конкретной изотермы, необходимо сперва выделить слой на панели слоёв, а затем воспользоваться инструментом **Определить объекты** из **Панели**

**атрибутов** .

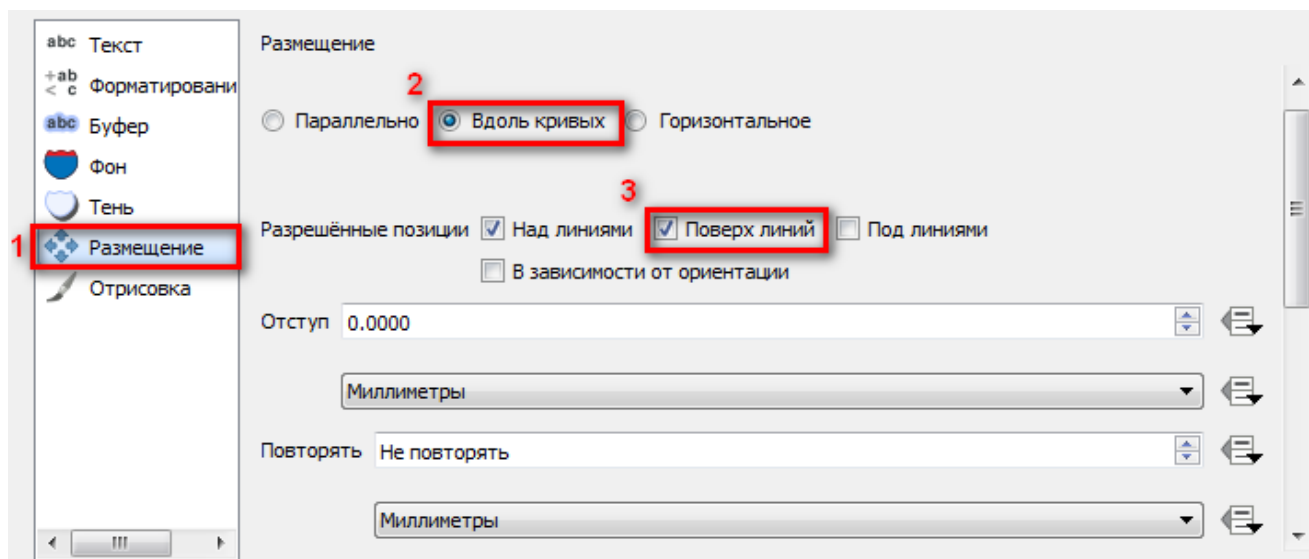
Для большей наглядности изотермы можно подписать. В свойствах слоя перейдите на вкладку **Подписи**. Из выпадающего списка выберите пункт **Показывать подписи для этого слоя** (1). Для пункта **Подписывать значениями:** выберите атрибут *level* (2). Этот атрибут хранит значения изотерм. Далее перейдите в группу настроек **Текст** и задайте размер и цвет подписей (3).



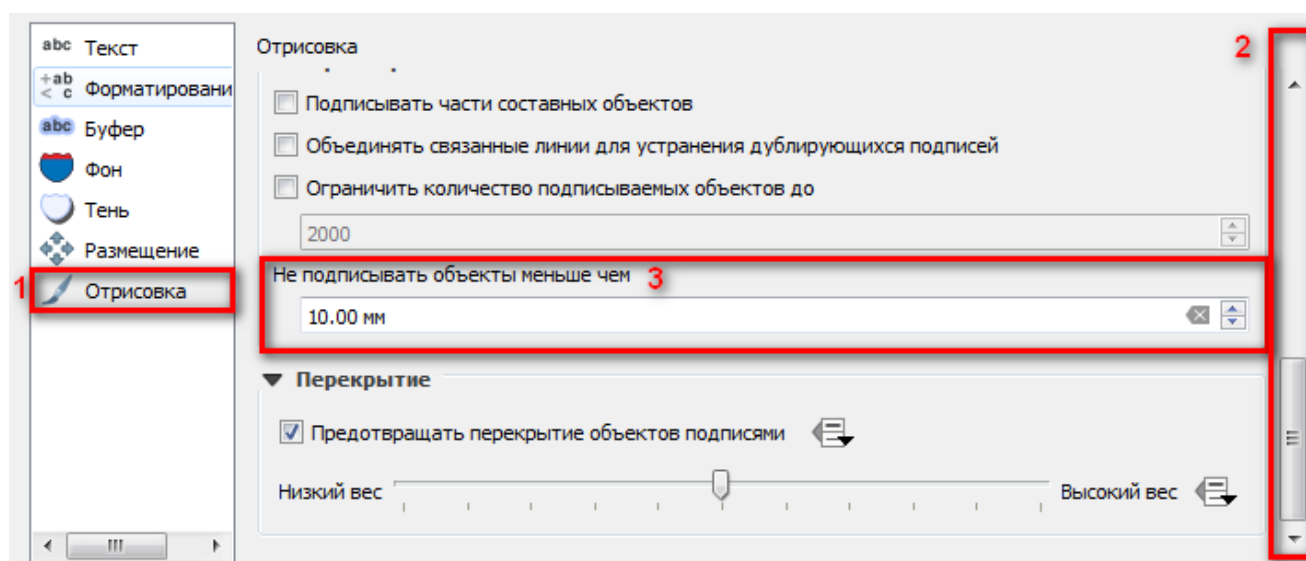
В группе настроек **Буфер** (1) активируйте функцию **Буферизировать подписи** (2) для того, чтобы создать вокруг надписи обводку, и они лучше бы читались на фоне карты.



В группе настроек **Размещение** (1), измените тип размещения на **Вдоль кривых** (2), активируйте дополнительную разрешенную позицию **Поверх линии** (3).



В группе настроек **Отрисовка** (1) найдите (2) опцию **Не подписывать объекты меньше чем** и задайте значение **10 мм** (3).

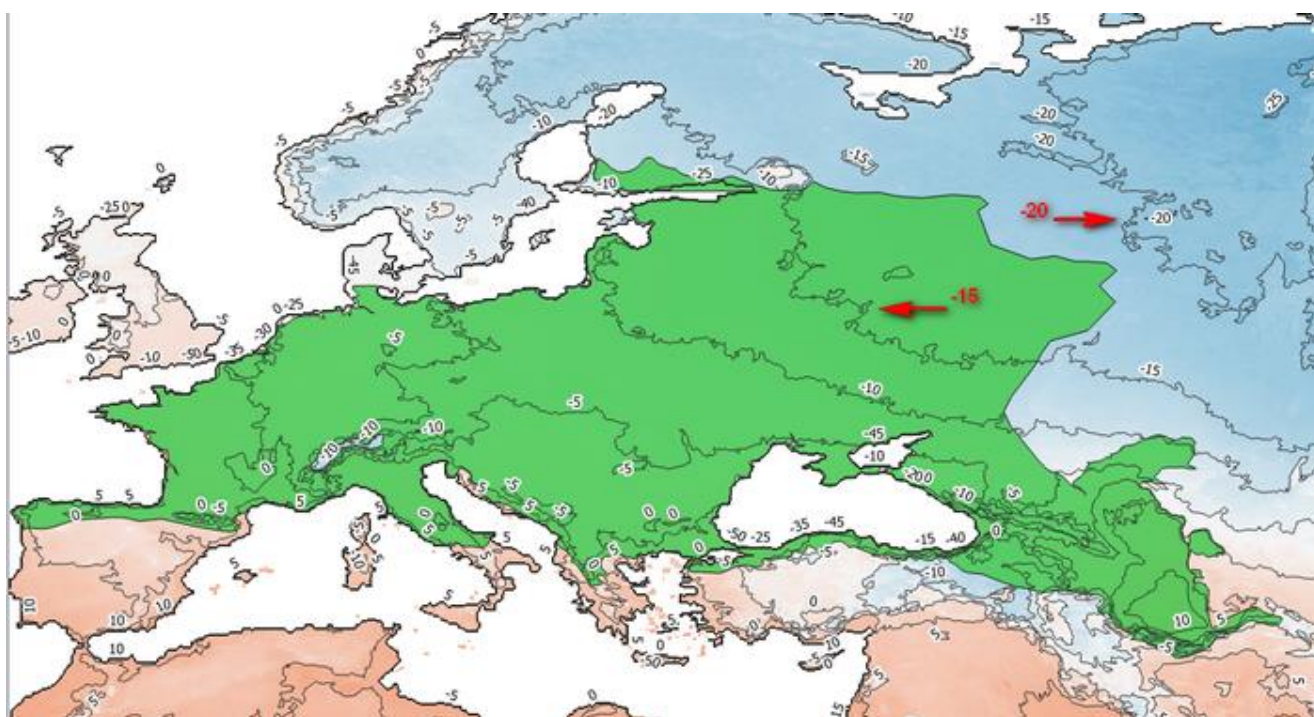


Примените настройки и закройте диалог.

Теперь каждая изотерма будет подписана соответствующим ей значением.

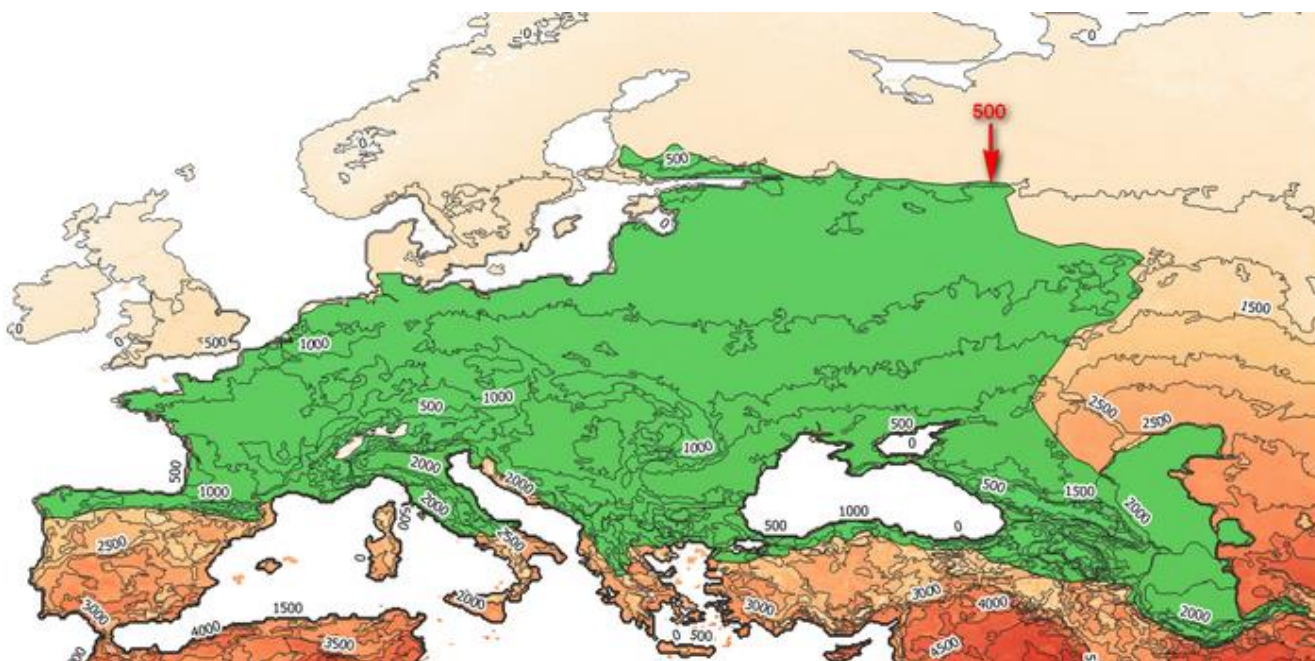
Восточная граница ареала распространения ясеня лимитируется январскими температурными значениями, лежащими между изотермами  $-15$  и  $-20^{\circ}\text{C}$  (и составляет приблизительно  $-17-18^{\circ}\text{C}$ ).



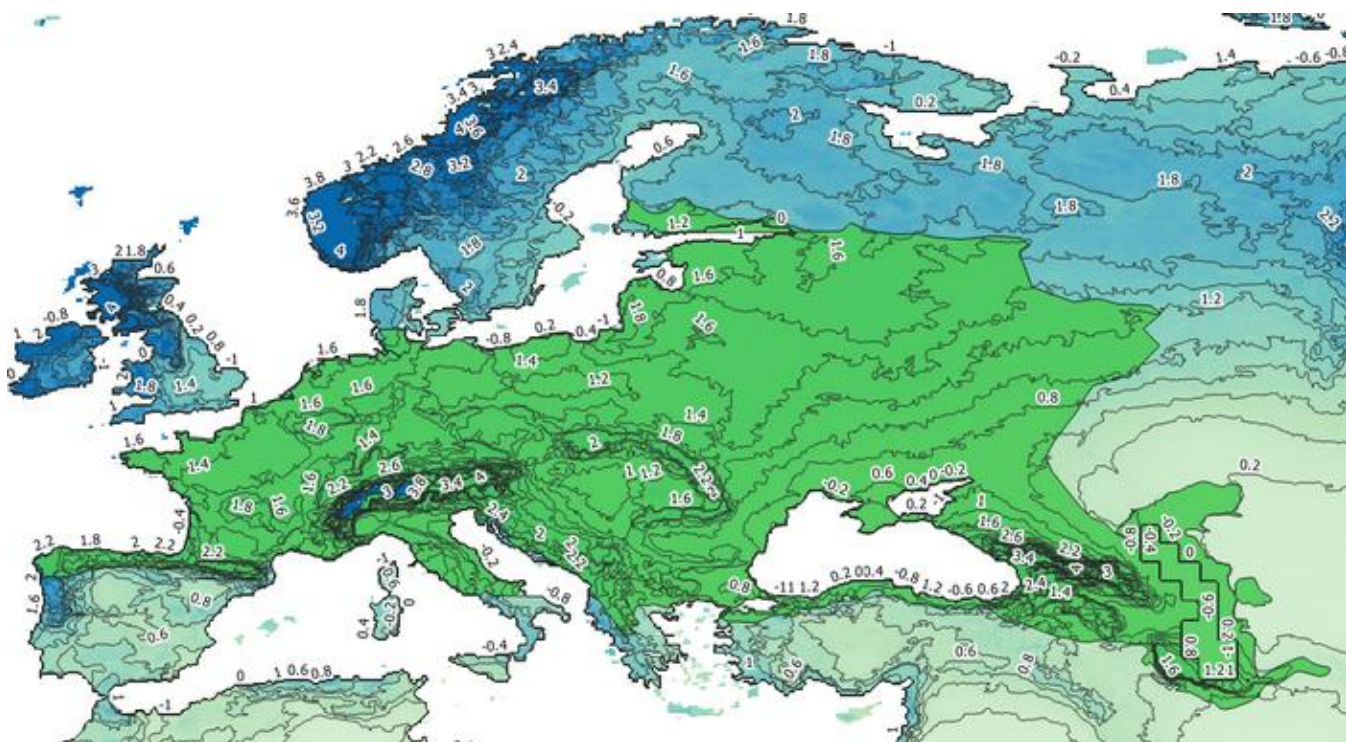


Таким образом, мы смогли дать приблизительную оценку лимитирующего значения одного из экологических факторов распространения конкретного вида. Проведите аналогичный анализ для остальных растров: определите северную границу распространения ясеня по сумме эффективных температур воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$  и южную границу по гидротермическому коэффициенту (ГТК).

Для построения изолиний по суммам эффективных температур рекомендуем использовать следующие параметры: минимальная изолиния = 0, максимальная = 8000, шаг = 500.



Для изолиний гидротермического коэффициента: минимальная изолиния = -1, максимальная = 4, шаг = 0.2.



Как видно из последнего рисунка, определить лимитирующую горизонталь для ГТК, хотя бы приблизительно, довольно сложно. В данном случае метод горизонталей плохо работает для решения поставленной задачи.

Для более точного анализа, выделения амплитуд экологических факторов, воспользуемся другим методом, основанным на экстракции значений пикселей и растровой алгебре.



## Практикум 3.2. Экстракция значений пикселей растра по векторным полигональным, точечным и линейным объектам и определение пороговых значений экологических факторов

### Задание:

Провести экстракцию значений по векторному полигону для трёх растров экологических факторов и получить их амплитуды

### Материалы для выполнения задания ([скачать](#)):

- Растр сумм эффективных температур воздуха выше 10°C за период вегетации: *SUM\_T\_above10.tif*;
- Растр средних январских температур: *t01.tif*;
- Гидротермический коэффициент Селянинова: *GTK.tif*;
- Векторный файл ареала распространения ясеня: *Fraxinus\_excelsior\_EUFORGEN.shp* (\*.shx, \*.dbf, \*.prj);
- Векторный файл береговой черты: *ne\_50m\_coastline.shp*(+\*.shx, \*.dbf, \*.prj).

Цель данного задания – получение амплитуды 3-х экологических факторов, определяющих ареалы произрастания ясеня. Векторный файл ареала распространения вида был получен в предыдущем задании ([см. практикум 2.3](#)). Для определения амплитуды необходимо выделить все значения пикселей, находящихся внутри векторного полигона, а затем построить гистограмму распределения этих значений.

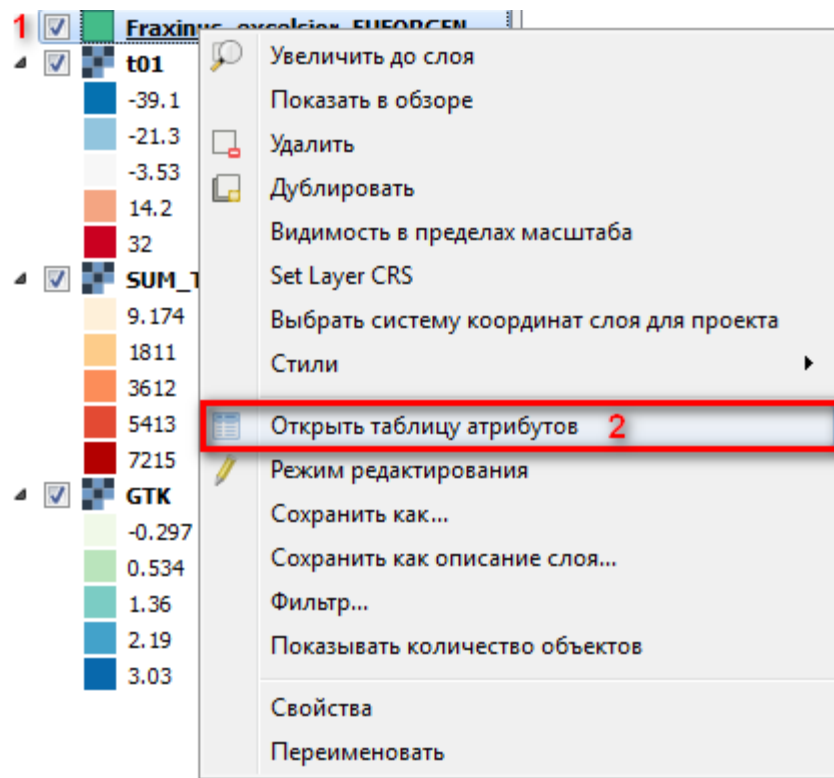
Для экстракции значений пикселей внутри полигона воспользуемся способом, включающим в себя выполнение следующих двух шагов:



1. Растеризация векторного слоя, создание бинарного растра, где значениям, попадающим внутрь полигона, присваивается 1, а всем остальным пикселям, вне полигона, присваивается 0.
2. Перемножение исходного растра на бинарный растр, полученный в пункте 1).

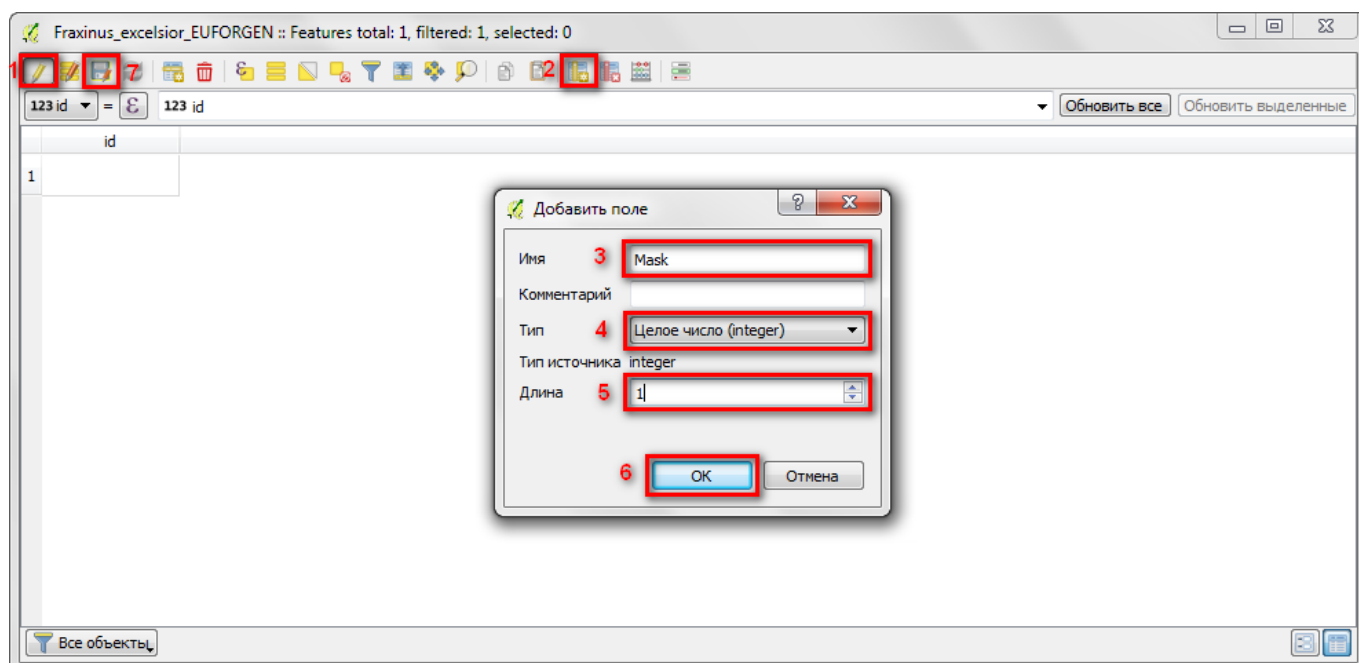
Описанный метод универсален, он может быть использован также для экстракции значений пикселей по линейным и точечным векторным объектам ([см. Приложение 5](#)).


### Работа в QGIS

Сначала подготовим векторный слой для растеризации. Правой кнопкой мыши кликните по слою (1) ареала распространения ясеня (*Fraxinus\_excelsior\_EUFORGEN*) и выберите пункт **Открыть таблицу атрибутов** (2).



Перед вами появится диалог таблицы, где вы увидите всего одну колонку с атрибутом *id*. Активируйте режим редактирования  (1) и добавьте новое поле  (2). В диалоге **Добавить поле** введите имя (3), тип *Целое число (integer)* (4) и длину *1* (5). **ОК**.



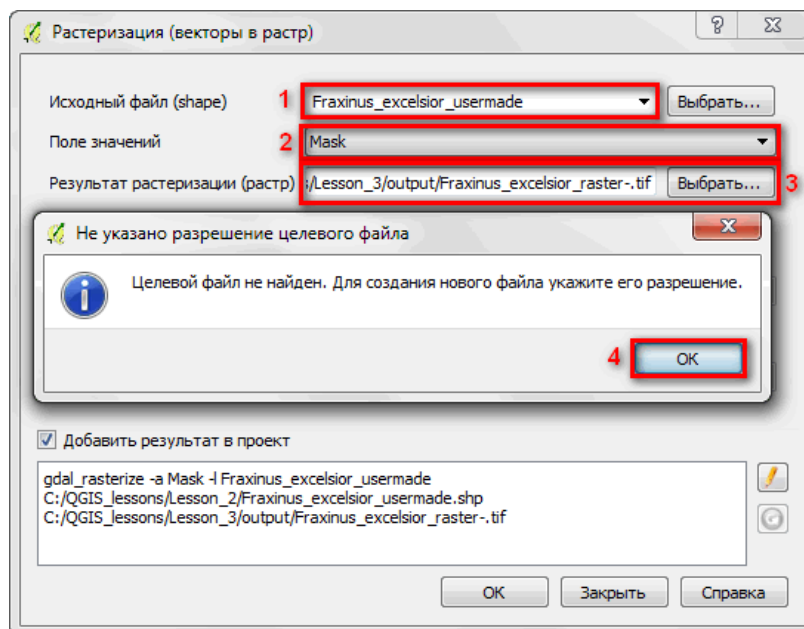
Сохраните изменения  (7). В таблице появилась новая колонка *Mask*. В поле нового атрибута введите *1*. Таким образом, единственный полигональный объект векторного слоя теперь имеет 2 атрибута *id* и *Mask*. Атрибут *id* нам не понадобится, но вы можете ввести любое целое значение, если оно отсутствует (это уникальный идентификатор объекта).

	id	Mask
1	1	1

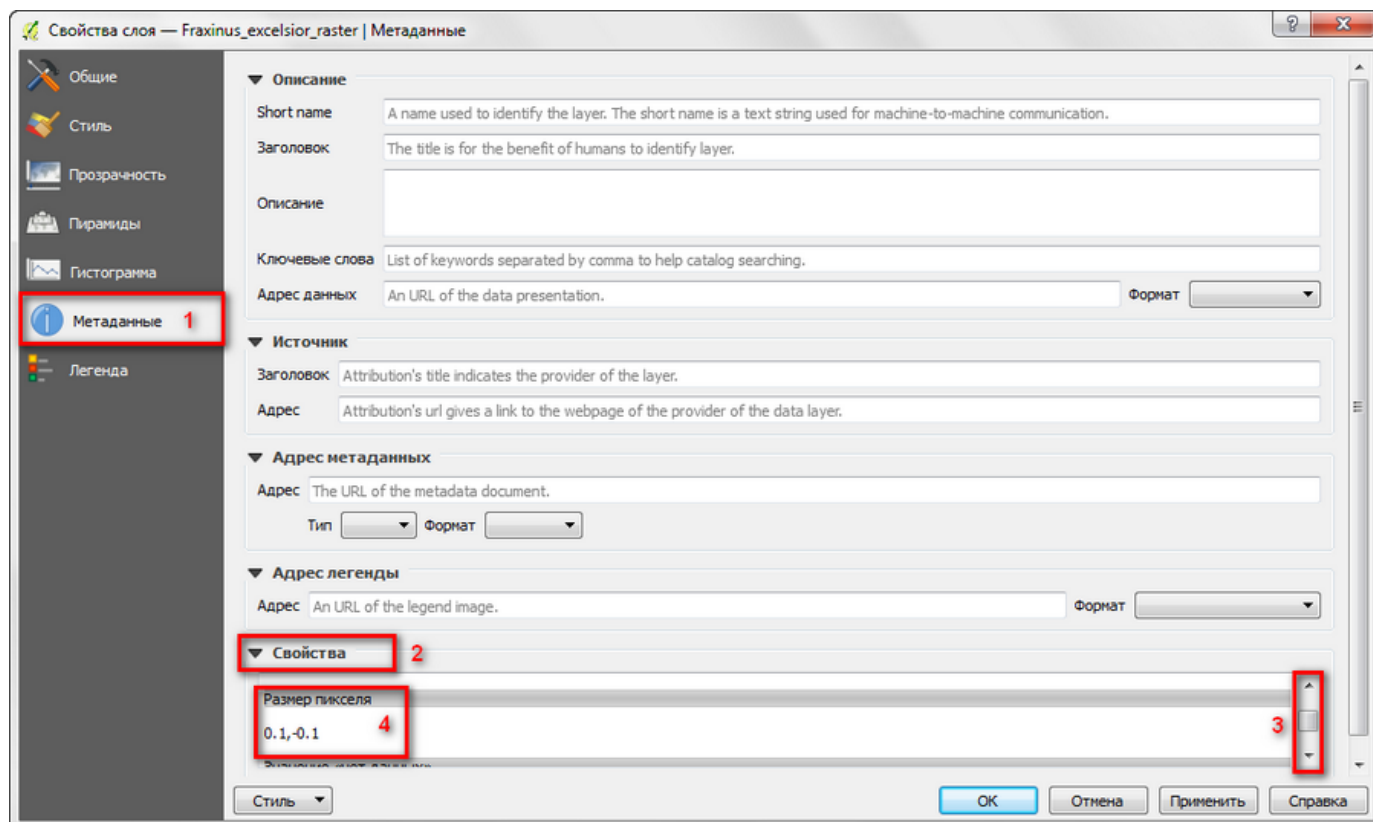
Ещё раз сохраните изменения , выключите режим редактирования и закройте диалог.

Откройте диалог **Растеризация (вектор в растр): Растр\Преобразование\ Растеризация (вектор в растр)**.

Выберете векторный слой для растеризации *Fraxinus\_excelsior\_EUFORGEN* (1), укажите поле значений, которые будут присваиваться ячейкам растра: атрибут *Mask* (2). Укажите путь и название выходного растра (3). Появится диалог с предупреждением. Закройте его (4).

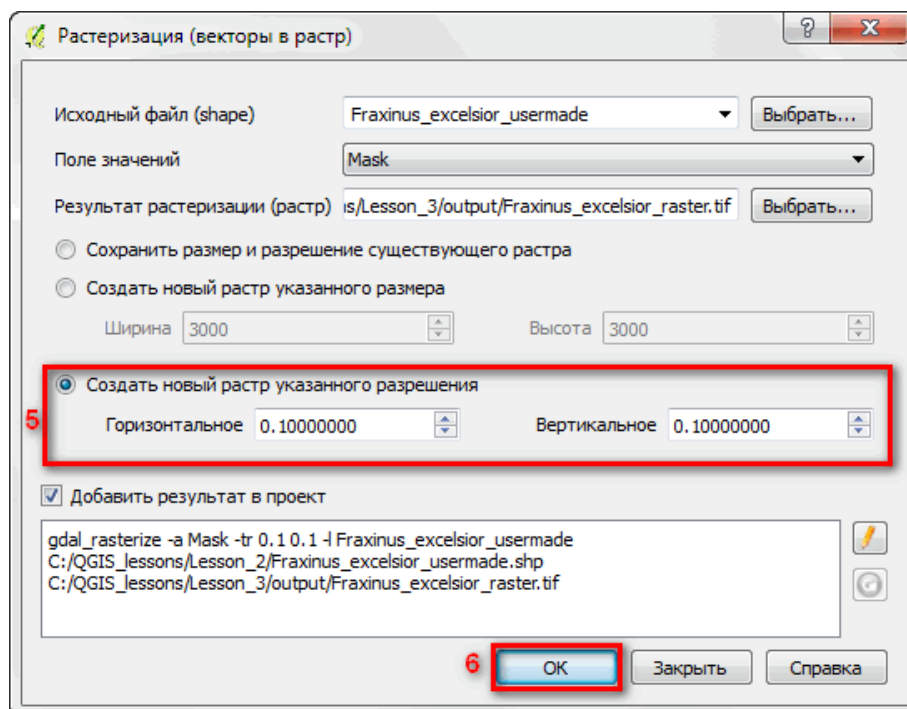


Укажем параметры выходного растра. Создадим растр с тем же пространственным разрешением, что и у растров *t09.tif*, *SUM\_T\_above10.tif*, *GTK.tif*. Узнать пространственное разрешение растра (размер пикселя) можно во вкладке **Метаданные** (1), открыв свойства растра.



Под заголовком **Свойства** (2) можно найти (3) информацию, в том числе и о размерах пикселя (4).

Таким образом, в диалоге **Растрезация (векторы в растр)** необходимо дополнительно указать параметры выходного растра для опции **Создать новый растр указанного разрешения** (3).



В проекте должен отобразиться растрезированный вектор.

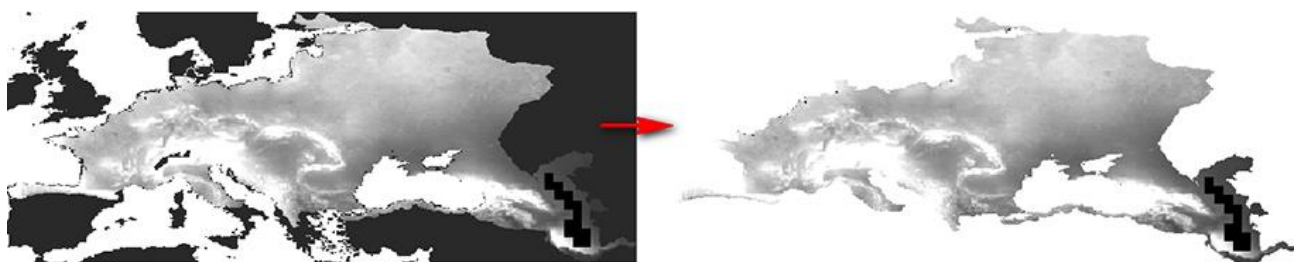


Теперь, воспользовавшись растровым калькулятором, с которым мы познакомились в первом практикуме ([про работу с растровым калькулятором см. практикум 1](#)), перемножим каждый растр экологического фактора на полученную маску. Выражения должны выглядеть следующим образом:

1. "t01@1" \* "Fraxinus\_excelsior\_raster@1"
2. "SUM\_T\_above10@1" \* "Fraxinus\_excelsior\_raster@1"
3. "GTK@1" \* "Fraxinus\_excelsior\_raster@1"

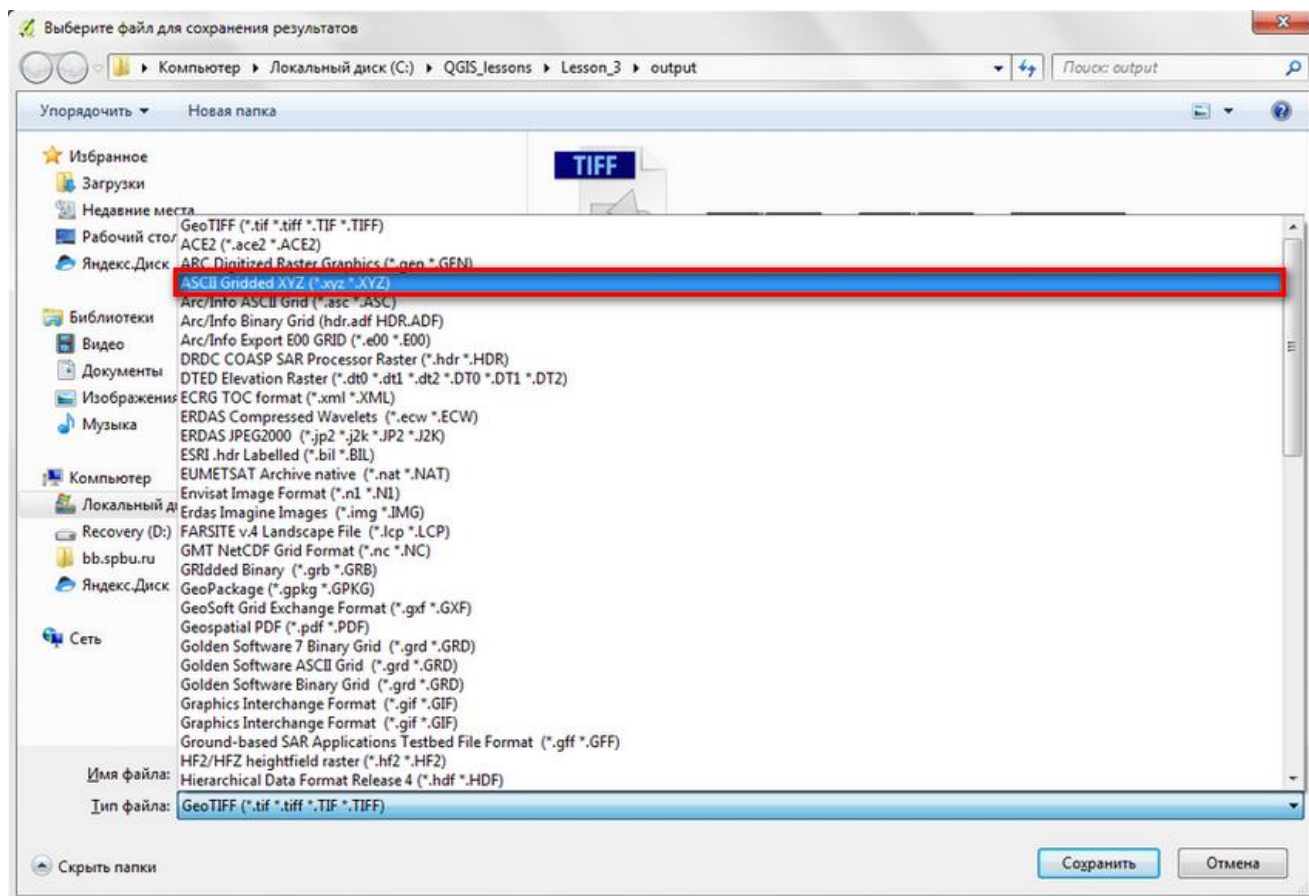
В результате трёх последовательно произведённых вычислений, должны получиться 3 новых растра.

Итоговые растры потребуется настроить, задав прозрачность дополнительным пикселям (значение “нет данных” = 0 во вкладке **Прозрачность** в свойствах растра).



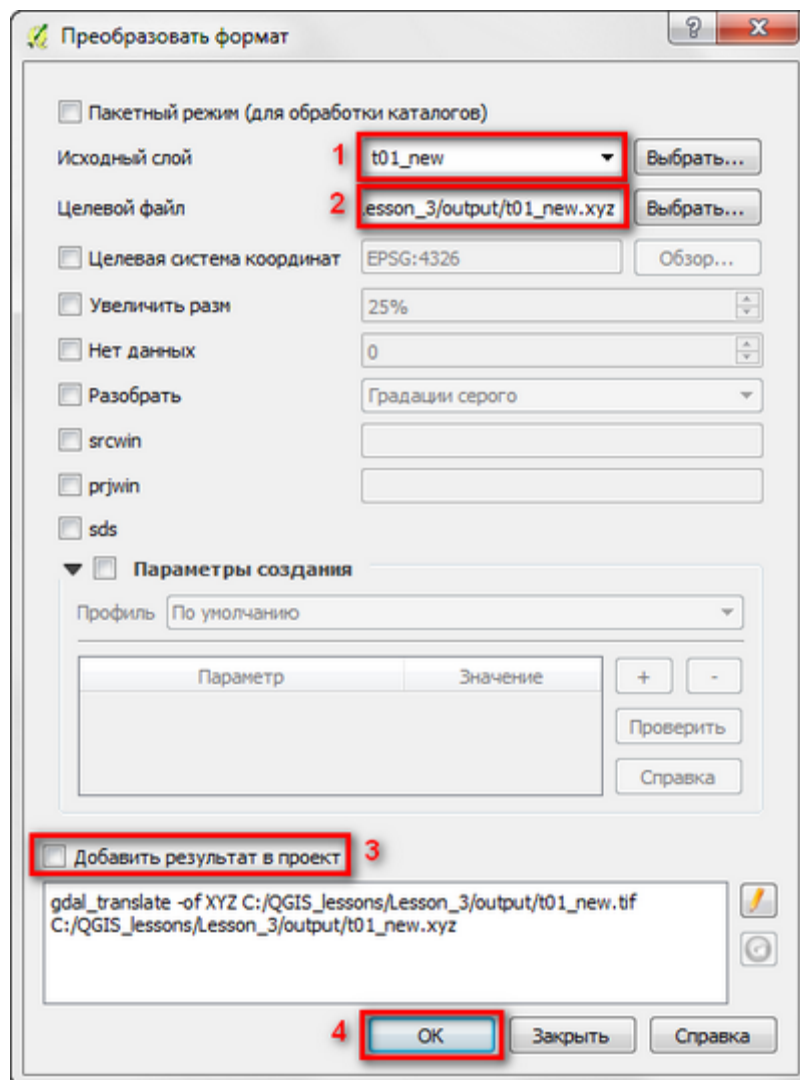
Полученные растры необходимо экспортировать в файл текстового формата, который в дальнейшем нам понадобится для работы в программе MS Excel. QGIS позволяет экспортировать растровые данные в текстовый формат XYZ.

Откройте **Растр\Преобразовать\Преобразовать формат**. Выберите исходный растр (1) для экспорта. Укажите путь и название выходного файла (2), не забыв указать тип файла *ASCII Gridded XYZ*.



Деактивируйте опцию **Добавить результат в проект (3)**. Остальные настройки оставьте без изменений.





После запуска процесса (4) экспорта появится диалог **Выбор системы координат**, который предложит выбрать проекцию координат для записи в файл XYZ. Выберите проекцию **WGS 84 (EPSG:4326)** или любую другую.

Экспортируйте в XYZ остальные растры.

Полученные текстовые файлы теперь можно открыть в MS Excel и определить лимитирующие значения растров экологических факторов.

Каждый текстовый файл нужно отсортировать по колонке со значениями пикселей, а затем удалить все значения “нет данных”, в соответствии с настройками каждого раstra (значения “нет данных”= 0 либо 3.40E+38). Постройте гистограммы по каждому фактору и определите их лимитирующие значения.

***Примечание.** Для извлечения значений раstra по векторным точкам в QGIS есть полезный инструмент **Point Sampling Tool**, позволяющий заметно сократить время обработки данных ([см. Приложение 5](#)).*

### Практикум 3.3. Оценка экологических амплитуд биообъекта: экстракции значений по экологическим границам ареалов

#### Задание:

Получить экологические амплитуды для каждого растра экологического фактора при помощи работы с палитрой.

#### Материалы для выполнения задания ([скачать](#)):

- Растр сумм эффективных температур воздуха выше 10°C за период вегетации: *SUM\_T\_above10.tif*;
- Растр средних январских температур: *t01.tif*;
- Гидротермический коэффициент Селянинова: *GTK.tif*;
- Векторный файл ареала распространения ясеня: *Fraxinus\_excelsior\_EUFORGEN.shp* (\*.shx, \*.dbf, \*.prj);

Этот вариант является предпочтительным, если задан площадной ареал распространения вида.

#### Работа в QGIS

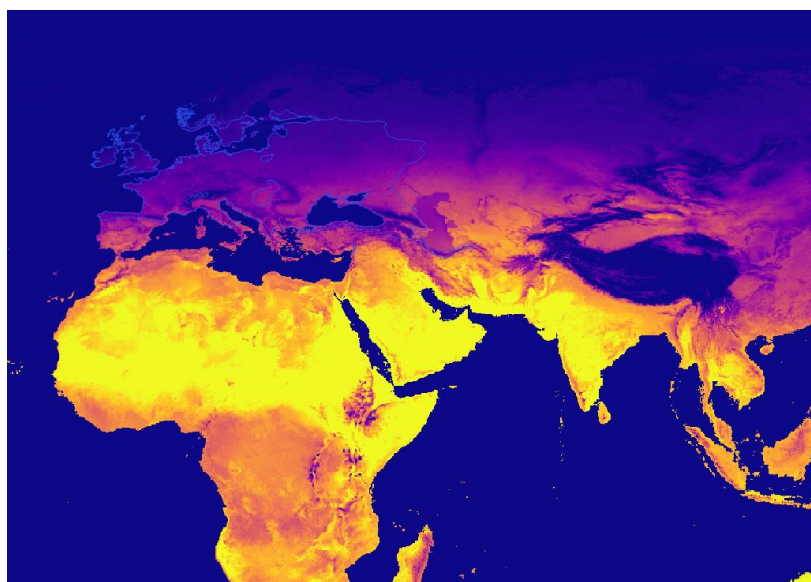
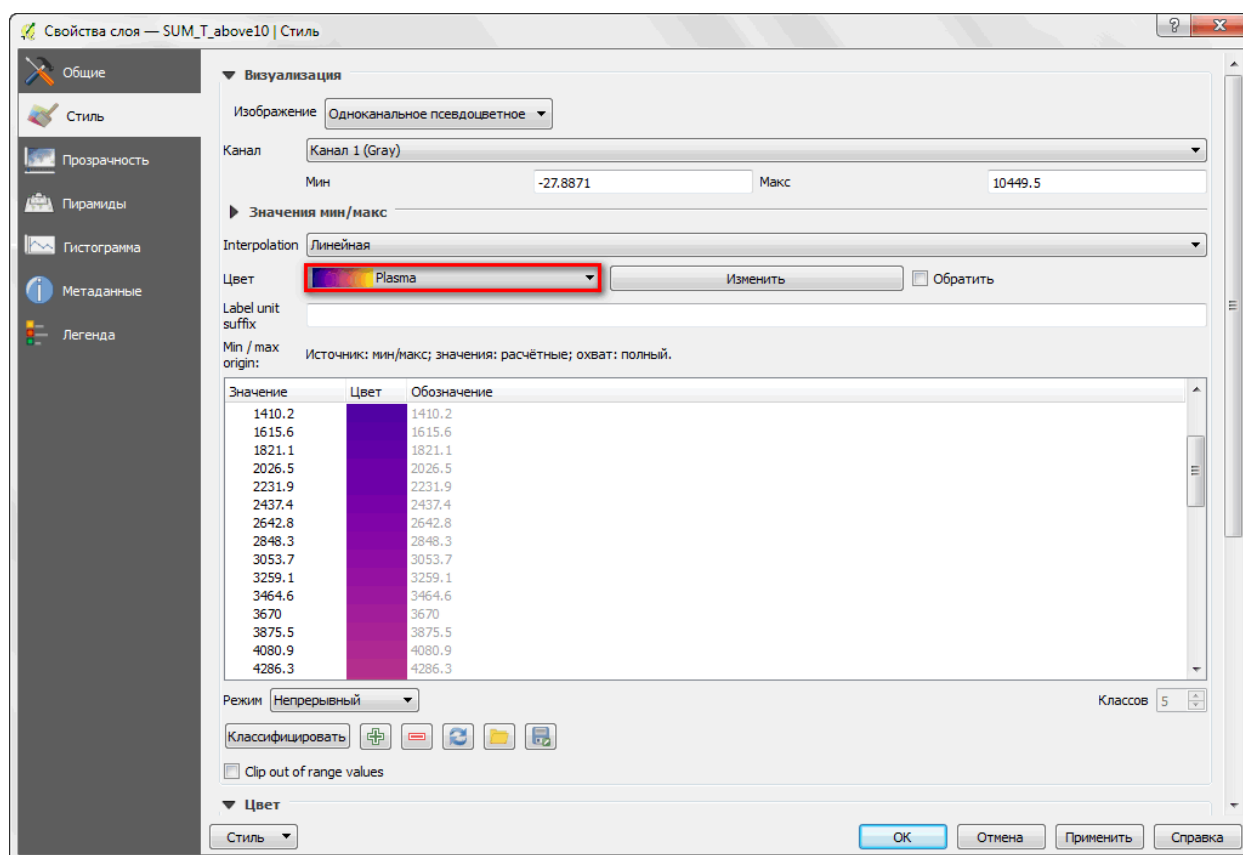
Добавьте в проект растровые слои *SUM\_T\_above10*, *t01m* *GTK* и векторный слой *Fraxinus\_excelsior\_EUFORGEN.shp*.

Для слоёв *t01* и *GTK* установите значения “нет данных” ([см. практикум 1](#)).

В [практикуме 3.1](#) мы определили приблизительные границы распространения 3-х лимитирующих факторов: сумм эффективных температур воздуха выше 10°C за период вегетации, гидротермического коэффициента, средней температуры самого холодного месяца (январь). Для более точного определения значений каждого фактора воспользуемся другим методом.

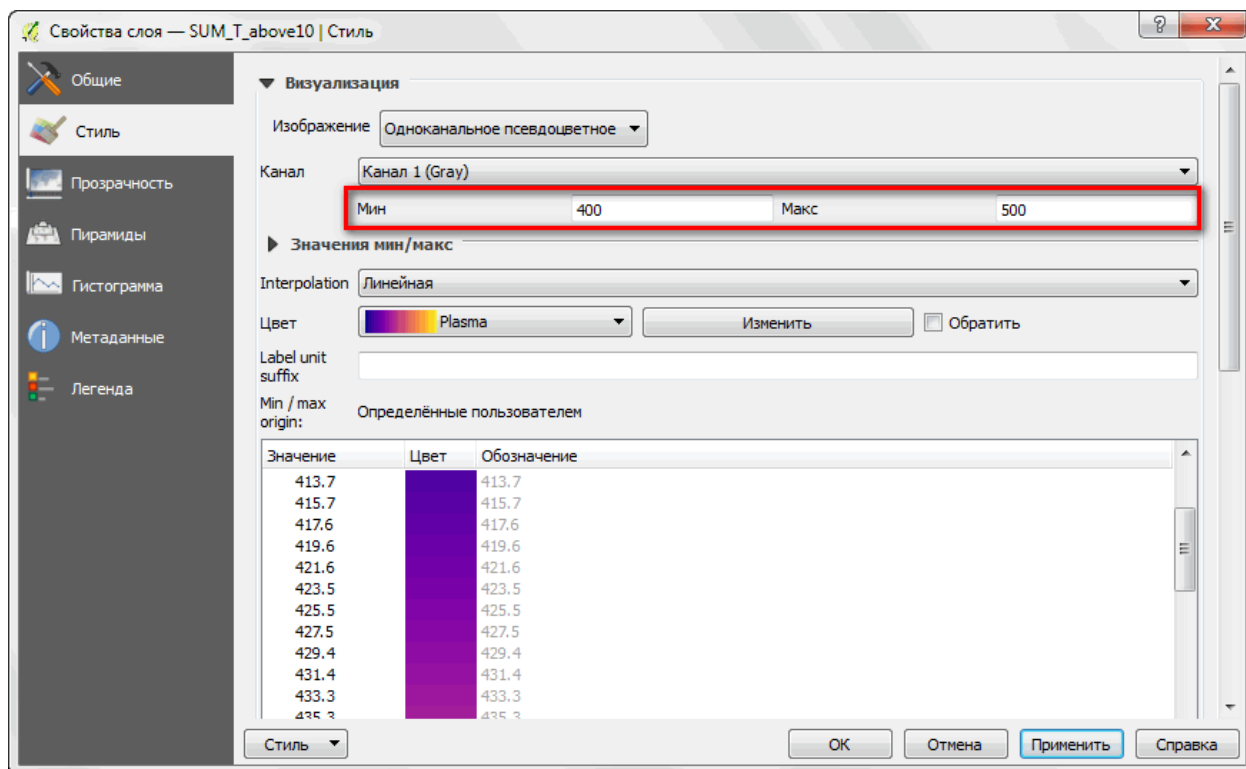
С помощью настройки палитры для каждого растрового слоя подберём такие минимальные и максимальные значения, которые бы позволили отобразить резкую границу перехода между ними, совпадающей с векторной границей распространения ясеня.

Для растра *SUM\_T\_above10* зададим цветовую палитру под названием *Plasma* ([про настройку палитры см. практикум 1](#)).

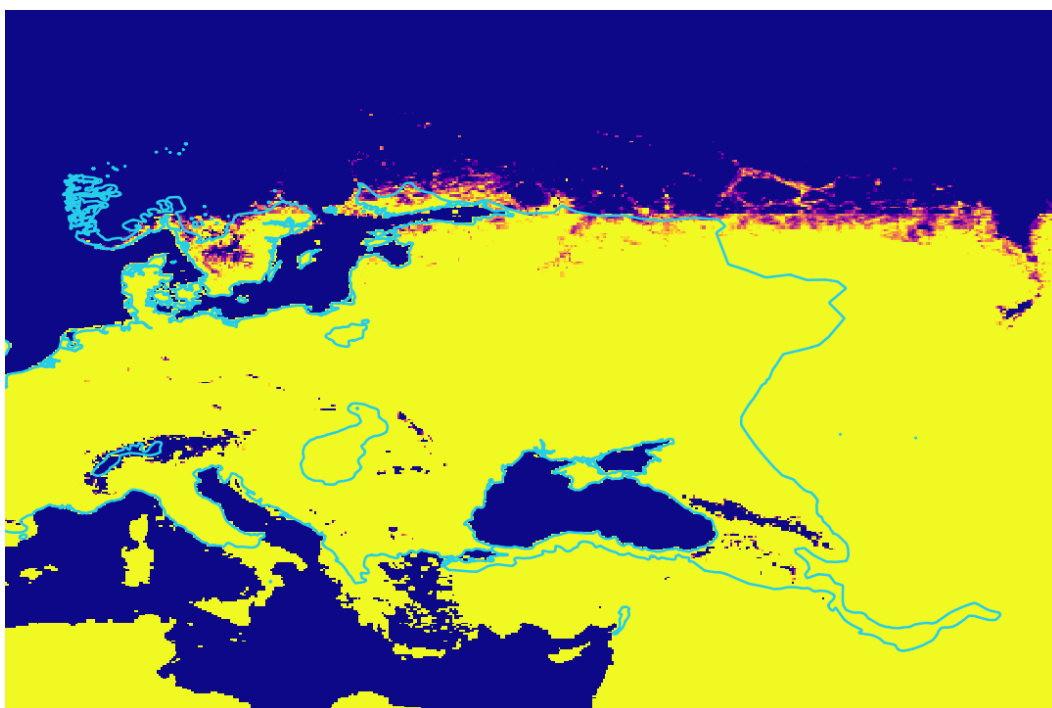


Из [практикума 3.1](#) помним, что изолинии лимитирующего фактора суммы температур выше 10°C имеют субширотное направление. Для определения значения лимитирующего фактора сперва необходимо выделить псевдоизолинию, которая приблизительно совпадала бы с северной границей распространения ясеня.

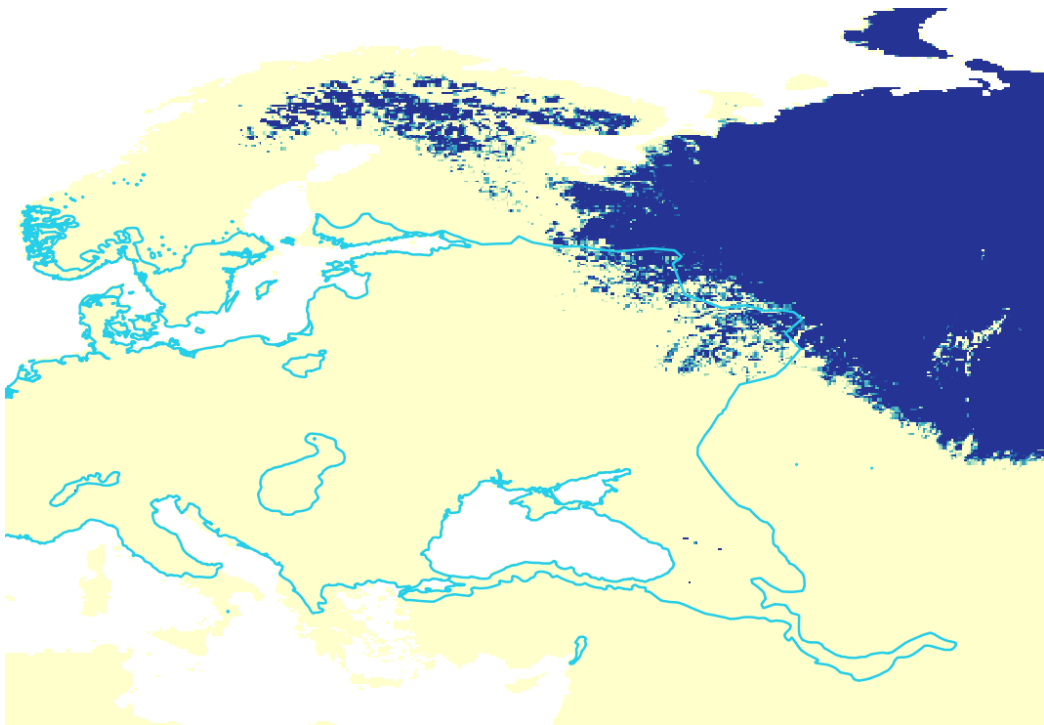
Выделение такой псевдоизолинии можно произвести с помощью настроек растра во вкладке **Стил** (в свойствах растра) с помощью изменения значений параметров визуализации **Мин** и **Макс**, соответствующих минимальному и максимальному значениям растра. Для растра *SUM\_T\_above10* рекомендуемые значения для визуализации **Мин** и **Макс** соответствуют 400 и 500 °C.



Видим, как граница распространение ясеня чётко лимитируется суммой температур с севера.



Для *t01* рекомендуемые значения визуализации **Мин** = -18, **Макс** = -17.5. Средние январские температуры лимитируют распространение ясеня с востока.



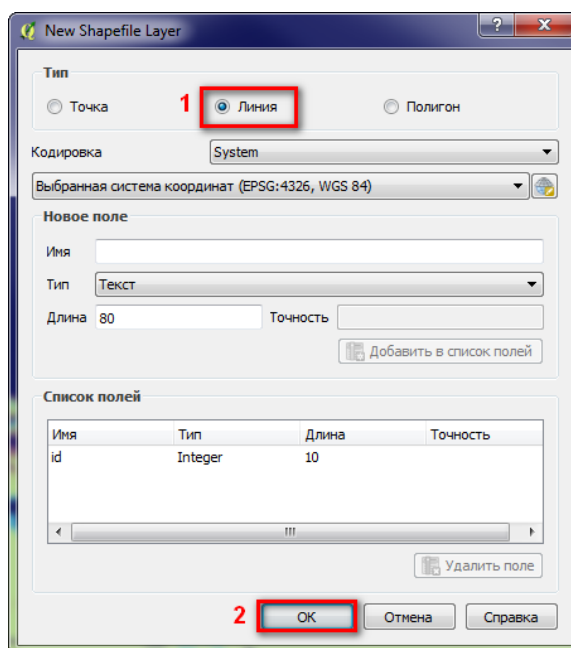
Для *ГТК* рекомендуемые значения визуализации **Мин** = 0.7, **Макс** = 0.75. Гидротермический коэффициент лимитирует распространение ясеня с юга.





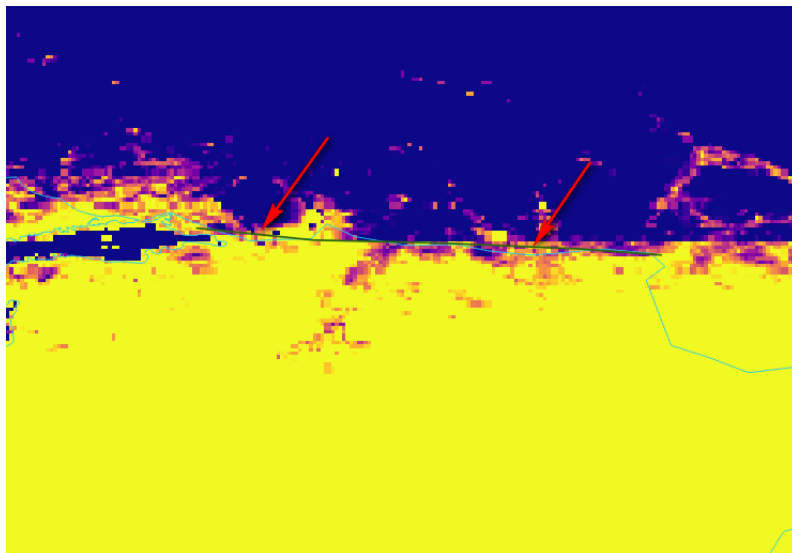
Таким образом, мы выделили границы всех трёх экологических факторов. Теперь необходимо определить их числовые значения, сейчас мы выделили только диапазоны значений:  $SUM\_T\_above10 = [400:500]$ ,  $t01 = [-18:-17.5]$ ,  $ГТК = [0.7: 0.75]$ .

Определим среднее значение по каждой границе лимитирующего фактора. Для этого необходимо создать 3 векторных слоя (тип - линия) для каждого из трёх факторов. После чего мы произведём экстракцию значений вдоль каждой векторной линии, а затем рассчитаем статистику и получим среднее, итоговое значение лимитирующего фактора.

Создадим векторный файл: **Файл\Создать слой\Создать shape-файл**. Выбираем тип **Линия** (1). **ОК** (2). Указываем путь и название вектора.



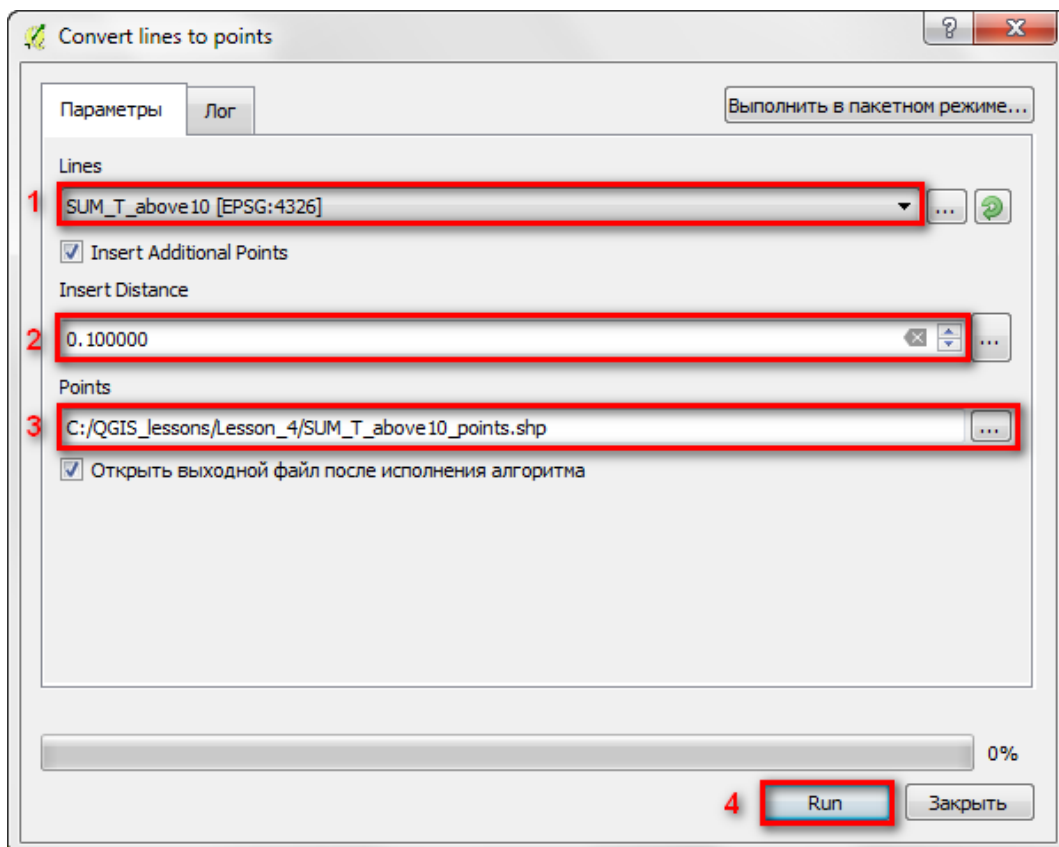
Проведём границу распространения ясеня, лимитированную суммой температур вдоль псевдоизолинии по растру *SUM\_T\_above10*. Для создания векторного объекта необходимо включить режим редактирования , а затем выбрать инструмент *Добавить объект* .



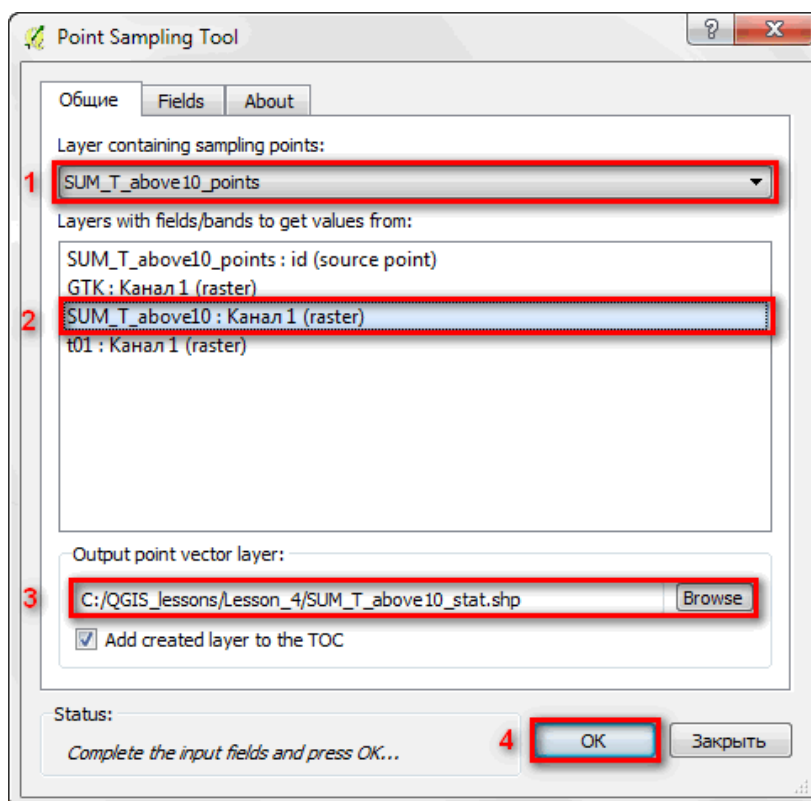
*Добавление векторного линейного объекта вдоль северной границы распространения ясеня по растру SUM\_T\_above10*


Переведём линии в точки с тем, чтобы произвести экстракции значений раstra: **Анализ данных\ Панель инструментов**. В строке поиска задать **Convert lines to points**. В диалоге **Convert lines to points** выбрать слой линии, для параметра **Insert Distance** задать шаг *0.1* (шаг равен разрешению раstra, которое можно посмотреть в свойствах раstra во вкладке *Метаданные*) ([см. практикум 3.2](#)).





С помощью инструмента **Point Sampling Tool** ([см. приложение 5](#)) извлечем значения пикселей с растра.



С помощью инструмента **Показать сводку статистики**  на панели меню узнаем среднее всех извлеченных значений, хранящихся в каждой точке.

Панель статистики

SUM\_T\_above10\_stat 1

1.2 SUM\_T\_abov 2

Параметр	Значение
Количество	129
Сумма	60094.7
Среднее	465.85 3
Медиана	455.002
Ст. откл. (pop.)	48.6053
Ст. откл. (выборка)	48.7947
Минимум	364.676
Максимум	623.768
Диапазон	259.092
Minority	364.676
Majority	392.673
Variety	114
Q1	434.579
Q3	489.721
IQR	55.1419
Отсутствующие значения (NULL)	0

☐ Только выделенные объекты

Повторите последовательно все выше приведенные процедуры для двух остальных растров.

## Тема 4. Эколого-географическое моделирование распространения биообъектов

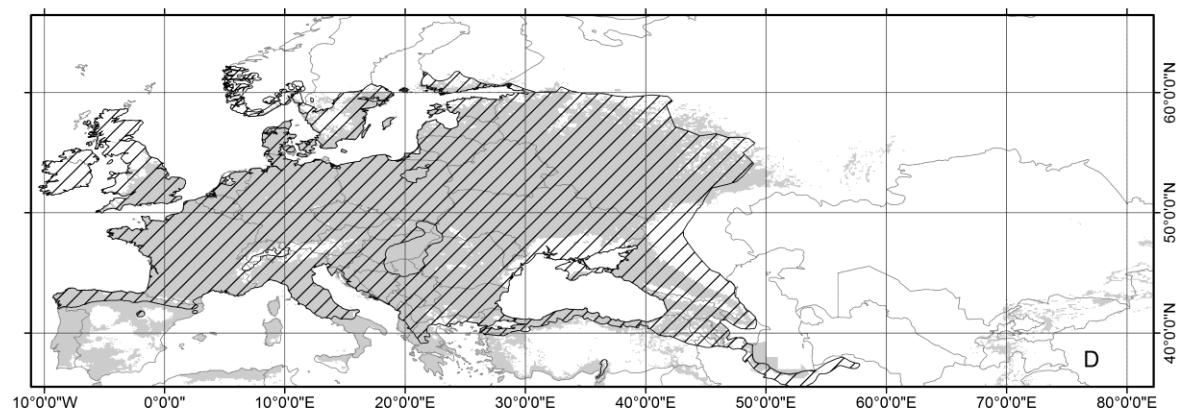
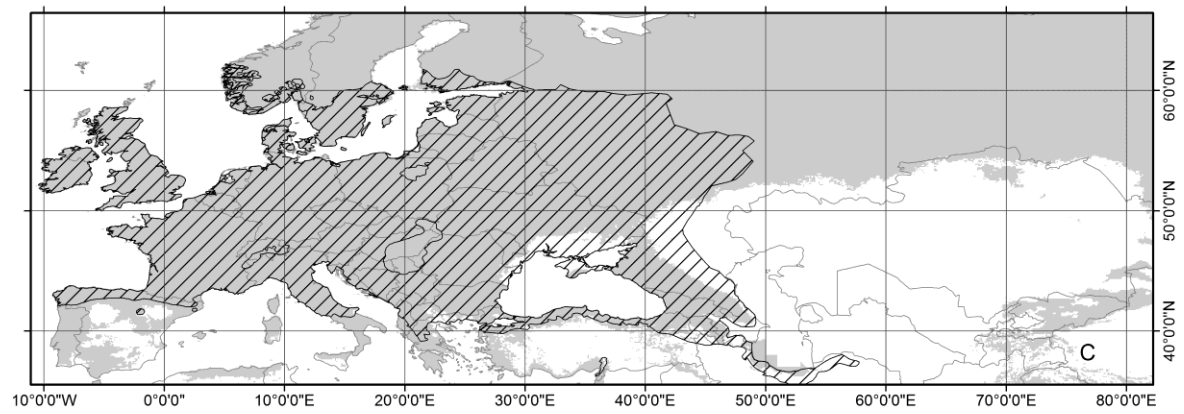
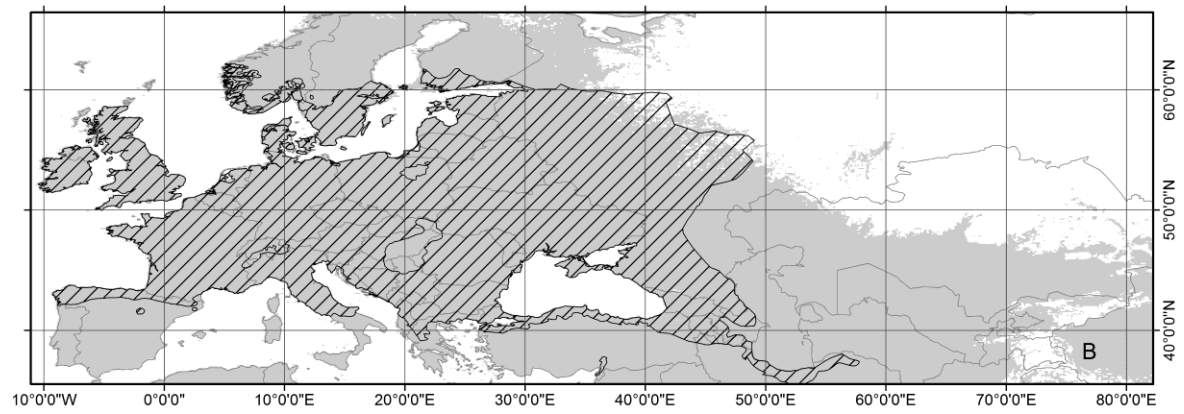
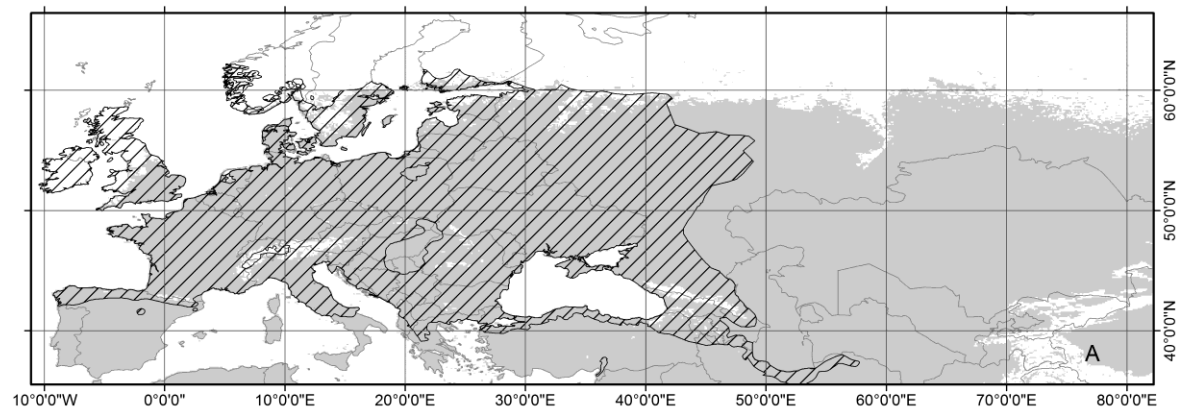
### 4.1. Эколого-географическое моделирование распространения ясеня

Существуют разнообразные алгоритмы и методы моделирования. Мы используем конвертный метод моделирования, поскольку его концепция наиболее понятна для биогеографов и экологов. Кроме того эта методика универсальна и все ее этапы прозрачны для пользователя и легко им контролируются.

На этапе эколого-географического моделирования по картам экологических факторов среды лимитирующих распространение вида в соответствии с ранее оцененными значениями экологических амплитуд ([см. тему 3.2.3](#)) проводят выявление территорий, экологически пригодных для существования вида. Как показал ранее проведенный нами эколого-географический анализ для ясеня это территории с суммами эффективных температур с порогом выше  $10^{\circ}\text{C} \geq 500$  (А), с температурами самого холодного месяца  $\geq -18^{\circ}\text{C}$  (В), значениями гидротермического коэффициента (ГТК)  $\text{ГТК} \geq 0.7$ . На растровой карте сумм температур выявляем клетки растра с суммами температур выше 500 градусов и присваиваем таким клеткам значения «1» (операция реклассификации). Клеткам с суммами температур ниже 500 градусов присваиваем значения «0». Аналогично реклассифицируем растровые карты температур самого холодного месяца и ГТК, присваивая значения «1» экологически пригодным клеткам растра и «0» клеткам не входящим в пределы экологических амплитуд. Получаем булевы (состоящие из нулей и единиц) растровые карты экологически пригодных территорий по каждому лимитирующему распространение вида экологическому фактору среды.

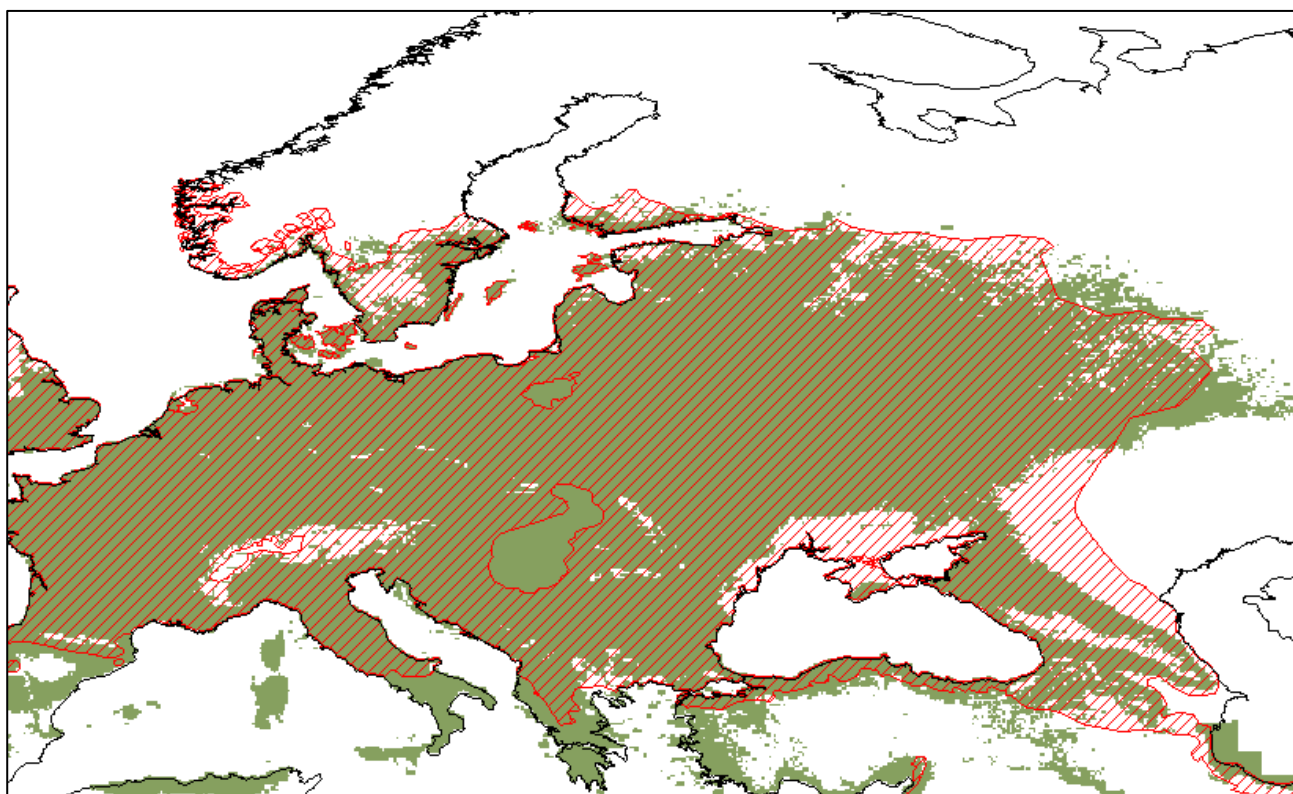
Совокупность экологически пригодных территорий по каждому лимитирующему распространение вида фактору сводится в карту эколого-географической ниши вида (D) в соответствии с концептом, описанным в [разделе 2.1](#). Обобщенной эколого-географической нишей считается территория, каждый пиксел которой пригоден для существования вида по каждому из лимитирующих его распространение факторов среды. Перемножение трех растров экологически пригодных территорий в калькуляторе растра как раз и позволяет выявить клетки растра, которые оказываются экологически пригодными по совокупности всех трех факторов. Только они при перемножении всех трех растров дают значение «1» ( $1*1*1 = 1$ ). Наличие в соответствующей клетке растра хотя бы одного нуля (непригодность по одному из лимитирующих факторов) даст при перемножении «0» ( $1*1*0 = 0$ ).

Сопоставление экологической модели с фактическим ареалом (D) показывает их неплохое совпадение.

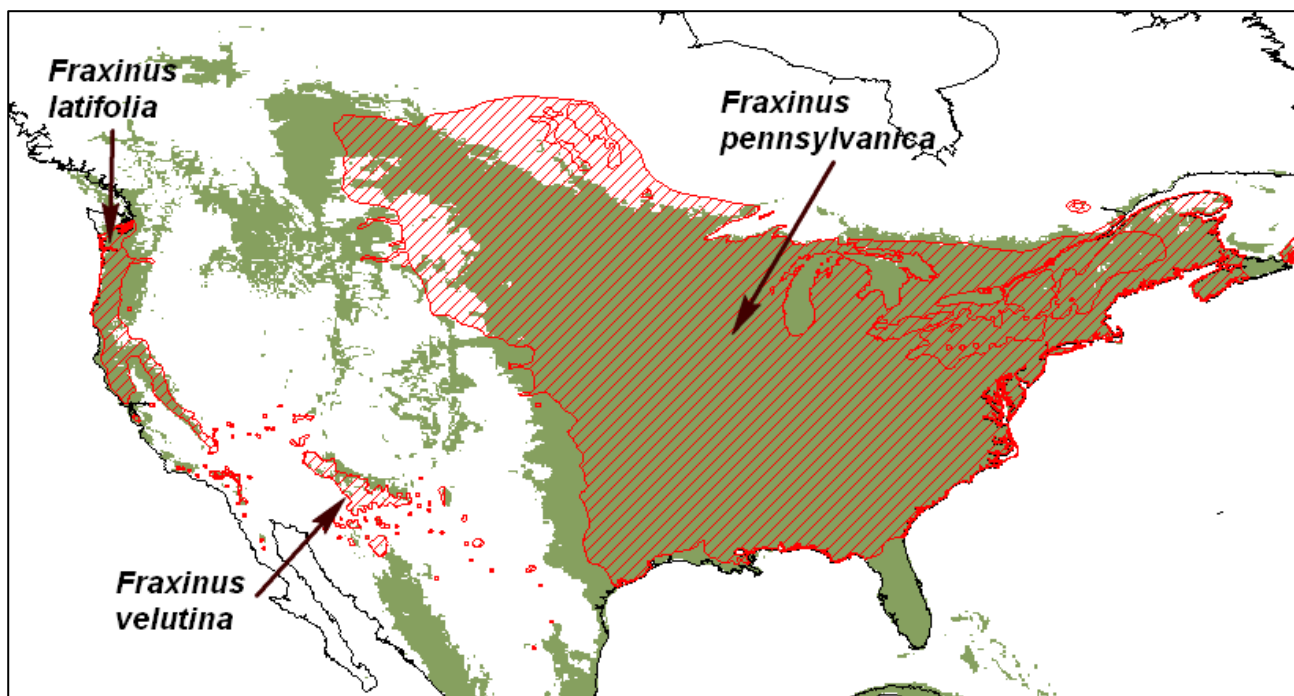


## 4.2. Валидация модели распространения ясеня

Валидация (проверка точности) карты смоделированной экологической ниши может осуществляться при включении в процедуру анализа и моделирования только части известных точек распространения вида или только фрагмента его ареала. В нашем примере с ясенем анализ эколого-географических амплитуд вида проведен только по фрагменту ареала распространения ясеня на территории б. СССР. В таком случае оставшая европейская площадь ареала ясеня может быть использована в качестве фрагмента для валидации. Сравнение границ модели распространения ясеня составленной по ситуации с ясенем в б. СССР, с фактическим распространением ясеня в Скандинавии показывает неплохую сходимость модельных и фактических данных (модельная территория показана на нижнем рисунке зеленой заливкой, а карта фактического ареала красной штриховкой) .



Ареал произрастающего в Северной Америке вида ясень пенсильванский также неплохо укладывается в пределы эколого-географической модели ясеня обыкновенного. Это разные виды одного рода, которые, по-видимому не сильно дивергировали и недалеко разошлись по экологическим параметрам в процессе эволюции.



Несовпадение границ модели с фактическим ареалом может быть вызвана уже отмеченными различиями в реализации экологической ниши видом в разном биотическом окружении; экологической дивергенцией популяций вида; неточностью или неполнотой использованных на этапе анализа и валидации карт ареала и точек распространения биообъекта; неточностью экологических карт; интразональностью некоторых точек нахождения вида, не отражаемой на используемых экологических картах... Анализ несовпадений часто позволяет получить новые сведения об экологии и географии вида, географии распространения экологических факторов среды, уточнить соответствующие карты; оценить экологическую дивергенцию популяций вида и родственных видов; выявить дополнительные факторы среды, лимитирующие распространение вида.

## Практикум 4. Работа в QGIS - эколого-географическое моделирование распространения ясеня

### Задание:

С помощью полученных ранее (заданных) лимитирующих значений распространения вида, выделить на всей территории земного шара участки, пригодные для его произрастания.

### Материалы для выполнения задания ([скачать](#)):

- Растр сумм эффективных температур воздуха выше 10°C за период вегетации: *SUM\_T\_above10.tif*;
- Растр средних январских температур: *t01.tif*;
- Гидротермический коэффициент Селянинова: *GTK.tif*;
- Векторный файл ареала распространения ясеня: *Fraxinus\_excelsior\_EUFORGEN.shp* (\*.shx, \*.dbf, \*.prj);
- Векторный файл береговой черты: *boundary.shp* (\*.shx, \*.dbf, \*.prj).



Имея лимитирующие значения распространения ясеня, мы можем теперь выделить для всей территории земного шара участки суши экологически пригодные для произрастания вида.

Для каждого из трёх растров экологических факторов (*SUM\_T\_above10.tif*, *t01.tif*, *GTK.tif*) произведём реклассификацию в соответствии с определенными на предыдущем этапе лимитами:

Суммы эффективных температур выше 10°C за вегетацию > 500°C;

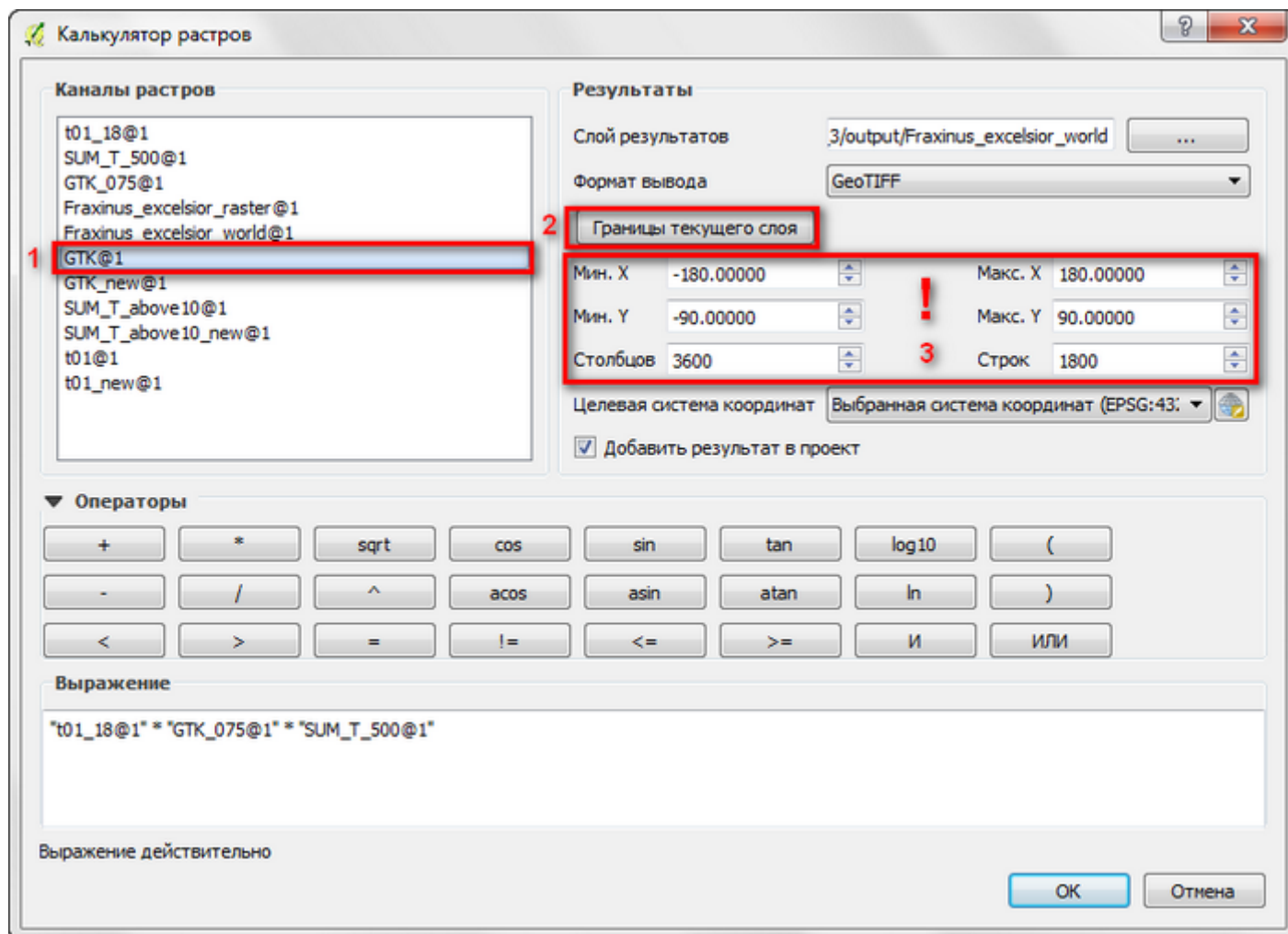
Гидротермический коэффициент > 0.75;

Температура января > -18 °C.

Реклассификация выполняется с помощью инструмента **Reclassify Values (simple)** ([см. практикум 1](#)).

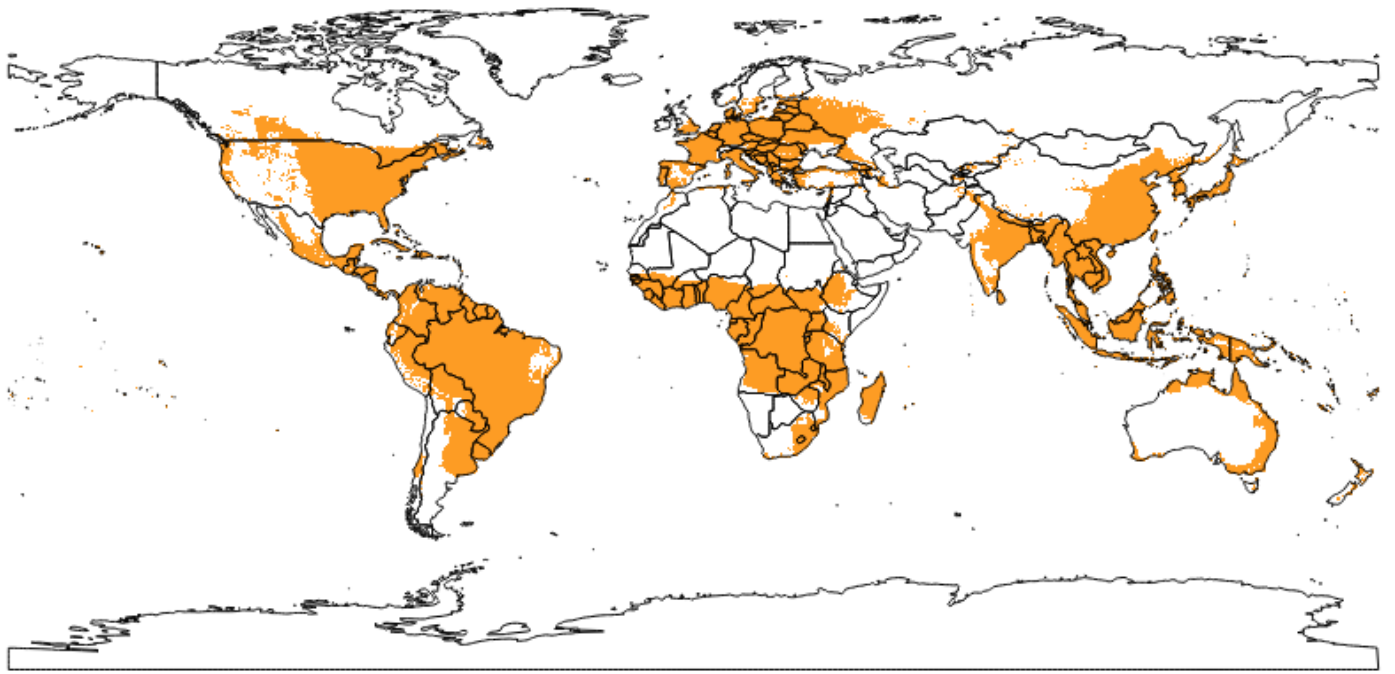
Реклассифицированные растры перемножаются, в результате чего получаем территорию пригодную для произрастания ясеня. Операция перемножения производится с помощью инструмента **Калькулятор растров** ([см. практикум 1](#)).

Работая с калькулятором растров, обратите внимание на параметры охвата выходного слоя. Его границы должны охватывать всю земную поверхность: от -90 ю.ш. до +90 с.ш. и от -180 з.д. до +180 в.д. (и не выходить за этот диапазон, иначе операция перемножения не сработает, и выходной растр окажется пустым!). Параметры охвата можно скопировать из растров *SUM\_T\_above10.tif*, *t01.tif*, *GTK.tif*. Для этого в диалоге **Калькулятор растров** в списке **Каналы растров** нужно выделить один из слоёв (1), а затем нажать кнопку **Границы текущего растра** (2).



Добавьте в проект слой *bound* и настройте его отображение.

В результате эколого-географического моделирования мы получили растр, показывающий модель глобального распространения ясеня.



# Приложения

## Приложение 1. QGIS: общие сведения и установка программы

QGIS (Quantum GIS) – свободная кроссплатформенная географическая информационная система с открытым кодом. Это наиболее популярная ГИС среди аналогов в мире Open Source.

Свою историю QGIS отсчитывает с 2002 года. С тех пор она непрерывно развивается, выпуская новые релизы (версии) каждый год. Целью проекта было создать дружественное ПО, которое позволило бы сделать использование ГИС лёгким и понятным для пользователя.

QGIS работает на Linux, Unix, Mac OSX, Windows и Android, поддерживает множество векторных, растровых форматов, баз данных, а благодаря интеграции алгоритмов других открытых ГИС, таких как GRASS и SAGA, становится мощным аналитическим инструментом. Кроме того, дополнительные расширения (плагины, модули) составляют существенную и динамично развивающуюся долю функциональности QGIS. На сегодняшний момент доступно более 400 модулей.

Скачать последнюю версию программы, а также ознакомиться с документацией можно на [официальной странице проекта](#).

Ещё одним важным русскоязычным информационным ресурсом является форум [GIS-LAB](#), на котором можно почти всегда найти ответы на свои вопросы, а также ознакомиться со множеством статей, посвященным геоинформационным технологиям, в том числе QGIS.

### *Установка QGIS и настройка рабочего пространства*

Актуальную версию QGIS можно скачать с официальной страницы проекта: <http://qgis.org/ru/site/forusers/download.html>. Дистрибутив также выложен в [архив](#) с материалами для выполнения практических занятий.

В процессе составления практикума использовалась версия QGIS 2.18. Установить программу этой версии можно, воспользовавшись ссылкой выше, либо с помощью скаченного дистрибутива, который приложен к данному практикуму.

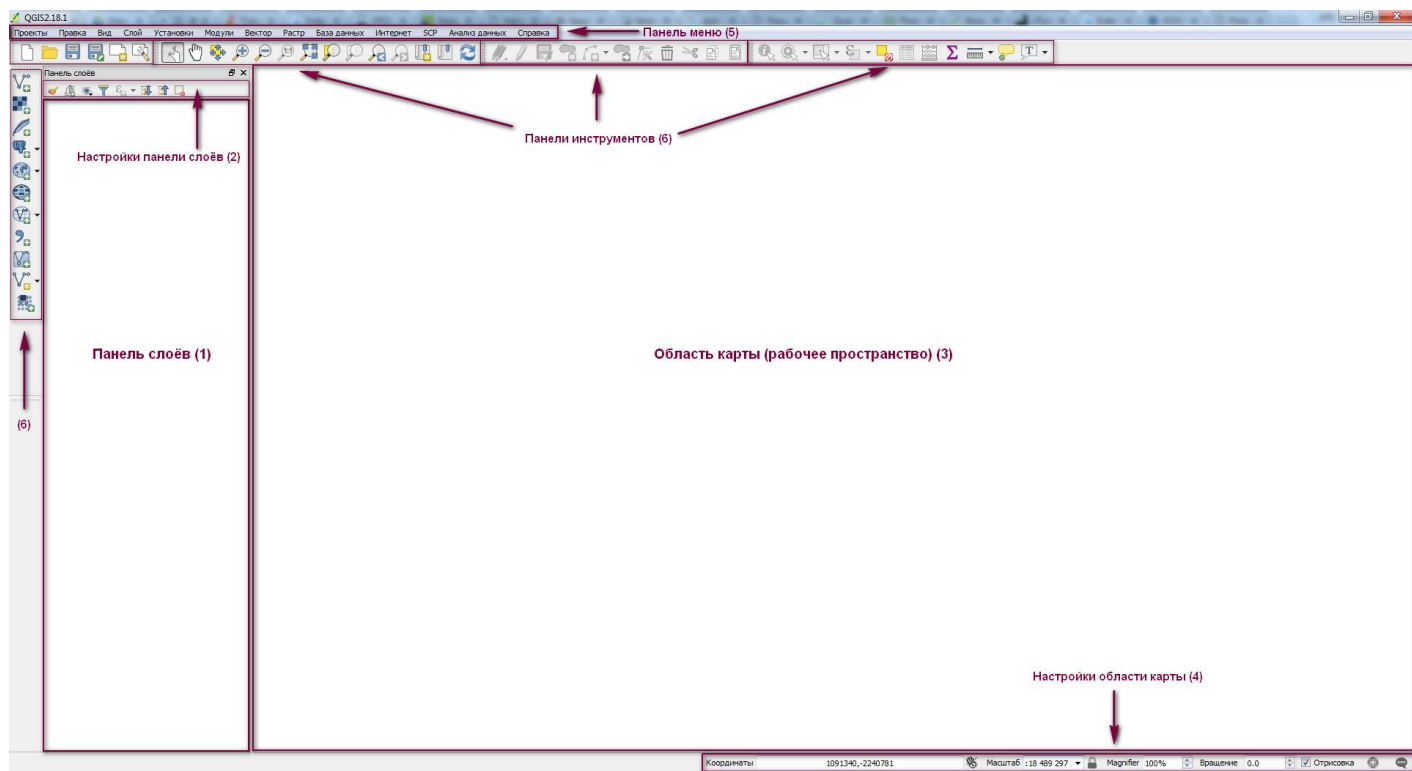
Установите программу на свою рабочую машину (для 64-битной или 32-битной системы). Запустите QGIS Desktop 2.18.

**NB! При работе в QGIS не используйте в путях к файлам (как входных, так и выходных) кириллицу и пробелы.**

**Неправильно: D:\Юля\QGIS\Упр 1\raster1.tif**

**Правильно: D:\Julia\QGIS\Ex\_1\raster1.tif**

Графический интерфейс пользователя выглядит следующим образом:

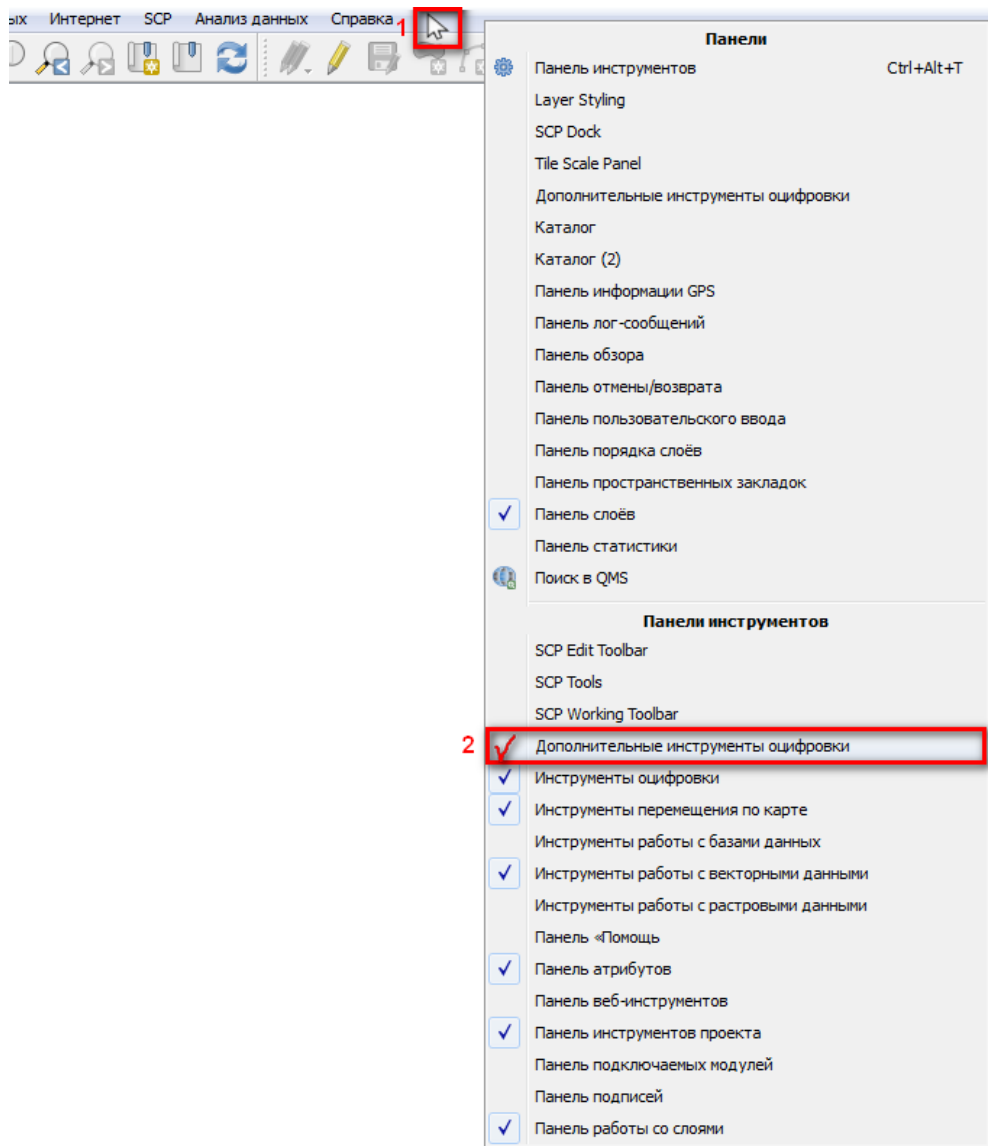


Графический интерфейс состоит из следующих элементов:

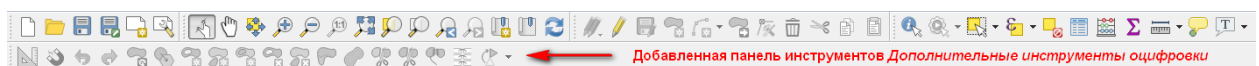
- 1) **Панель слоёв.** На этой панели отображаются все слои, загруженные в проект.
- 2) **Настройки панели слоёв.** С помощью данных настроек можно группировать слои, фильтровать, автоматически разворачивать и сворачивать все слои и группы слоёв, управлять их видимостью.
- 3) **Область карты (или рабочее пространство).** В этой области отображаются загруженные в проект данные.
- 4) **Настройки области карты.** Настройки и параметры в правом нижнем углу позволяют отображать координаты курсора на карте, отображать и задавать текущий масштаб карты, задавать внешнюю проекцию и систему координат.
- 5) **Панель меню.** Стандартная панель, которая содержит в себе стандартные инструменты.
- 6) **Панели инструментов.** Дополнительные инструменты, которые подключаются или отключаются при необходимости.

### *Доступ к панелям инструментов*

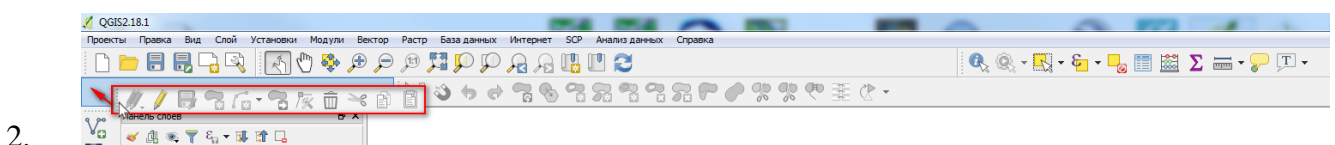
При первом запуске программы, набор панелей инструментов может отличаться от набора, представленного на рисунке. Для того, чтобы подключить или отключить дополнительную панель, необходимо кликнуть правой кнопкой мыши в свободном месте справа от панели меню (1), после чего появится список всех доступных наборов инструментов.



Из списка выберите нужный набор инструментов, кликнув на него левой кнопкой мыши (2). Панель автоматически появится в группе панелей инструментов.



Панели можно по-разному размещать друг относительно друга. Для этого нужно навести курсором на вертикальную линию точек в левой части панели инструментов и, зажав левую клавишу мыши, начать перетаскивать панель.



### ***Работа с проектами***

Всю текущую работу в QGIS можно сохранять в виде проекта. Проект будет хранить информацию о всех загруженных вами слоях вместе с их настройками. Таким образом, каждый



раз, когда вам необходимо будет вернуться к работе, вам не придётся заново загружать слои и тратить время на настройку их отображения.

Сохранение проекта осуществляется через пункт меню: **Проекты\ Сохранить как...** или с

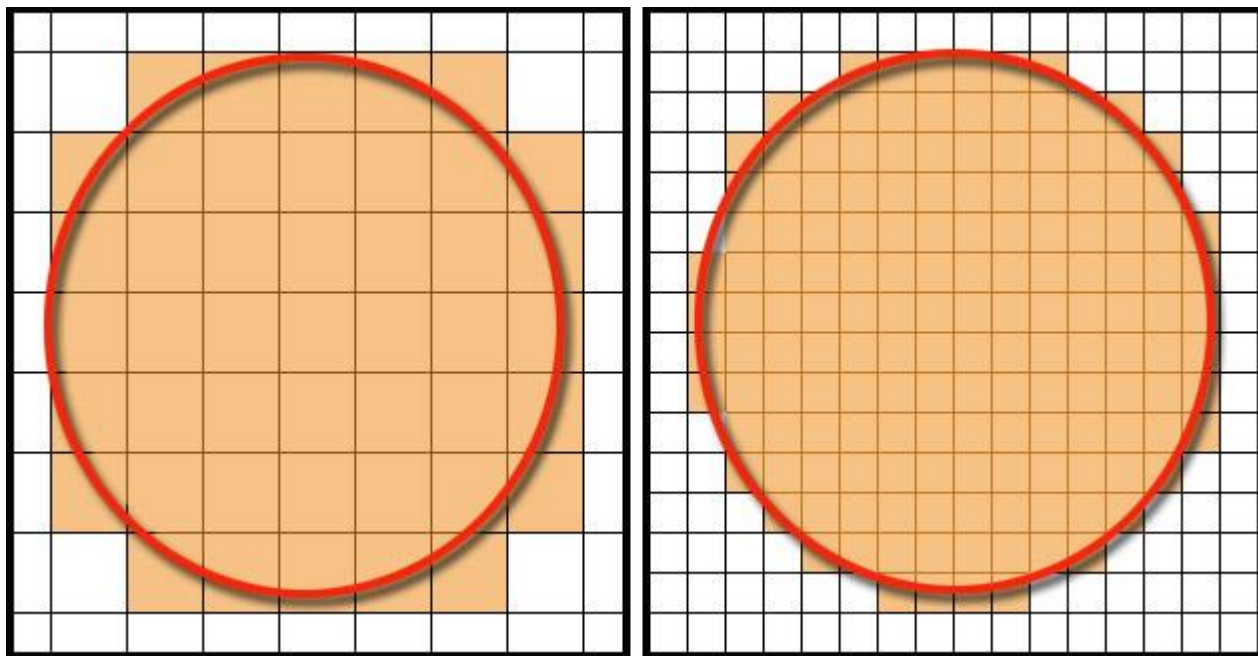
помощью пиктограммами на панели инструментов проекта



Файл проекта будет иметь расширение **.qgs**.

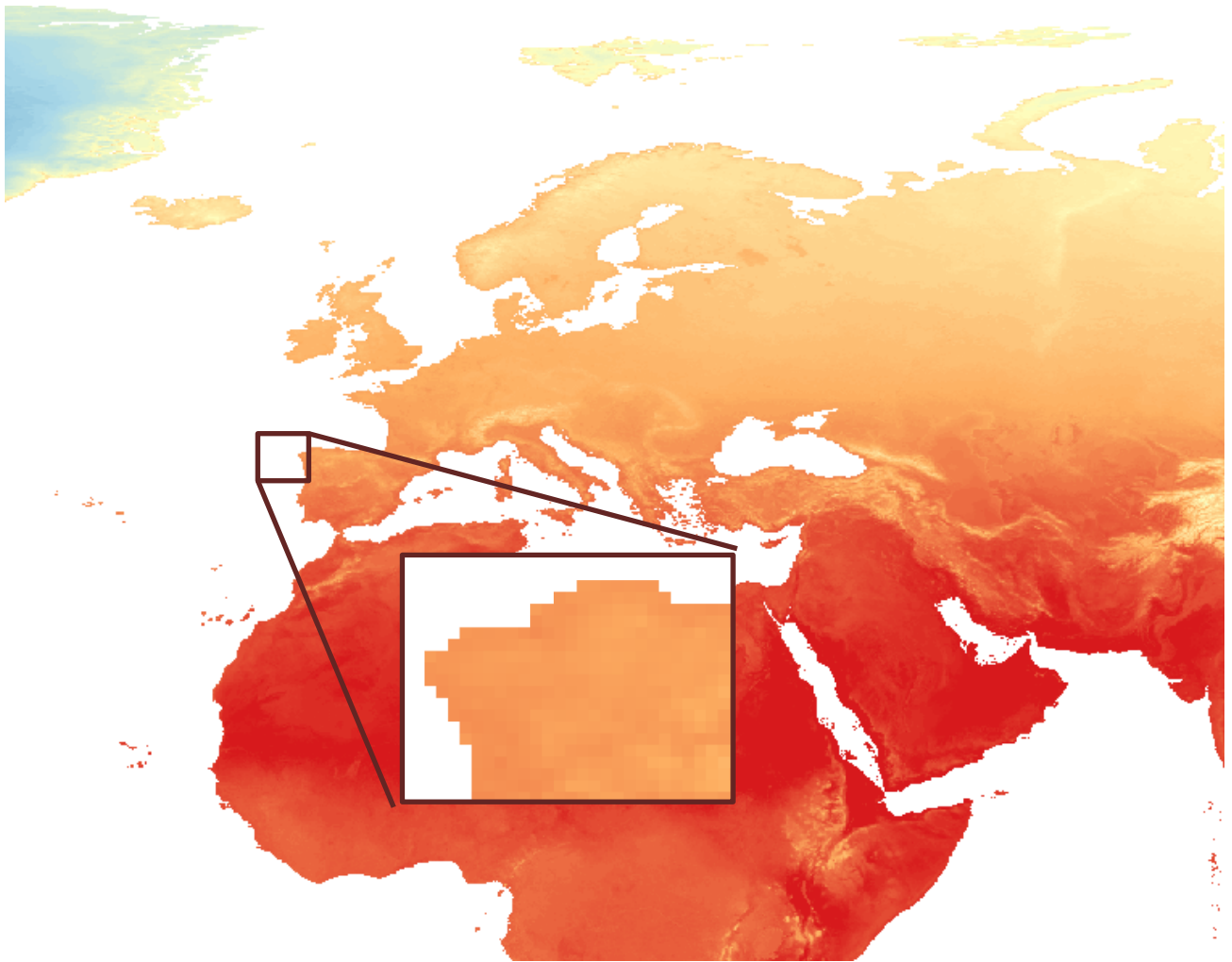
## Приложение 2. Представление о растровых картах и работе с ними

Геопространственная информация может быть представлена в растровом или в векторном виде. При растровом представлении земная поверхность разбивается регулярной растровой сеткой. Размер элементарной ячейки характеризует **пространственное разрешение растра**. Чем чаще сетка, тем мельче ячейки и тем детальнее растр обрисовывает земную поверхность. На рисунке показана зависимость точности аппроксимации фигуры в зависимости от величины ячеек.



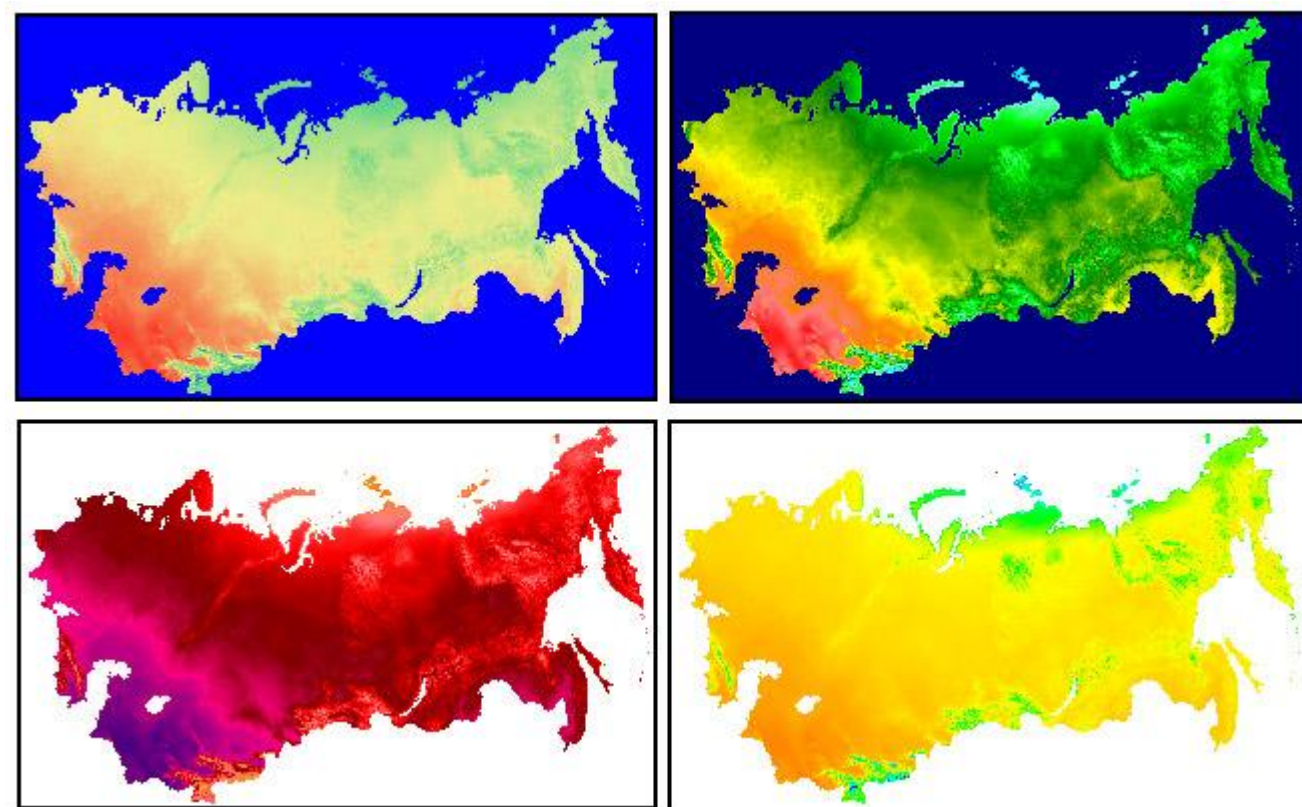
Чем детальней растр, тем выше его пространственное разрешение, тем точнее аппроксимация объектов растром.

При малом увеличении пикселизация растровой карты может быть не видна, но при увеличении фрагмента карты элементарные квадраты становятся заметны.




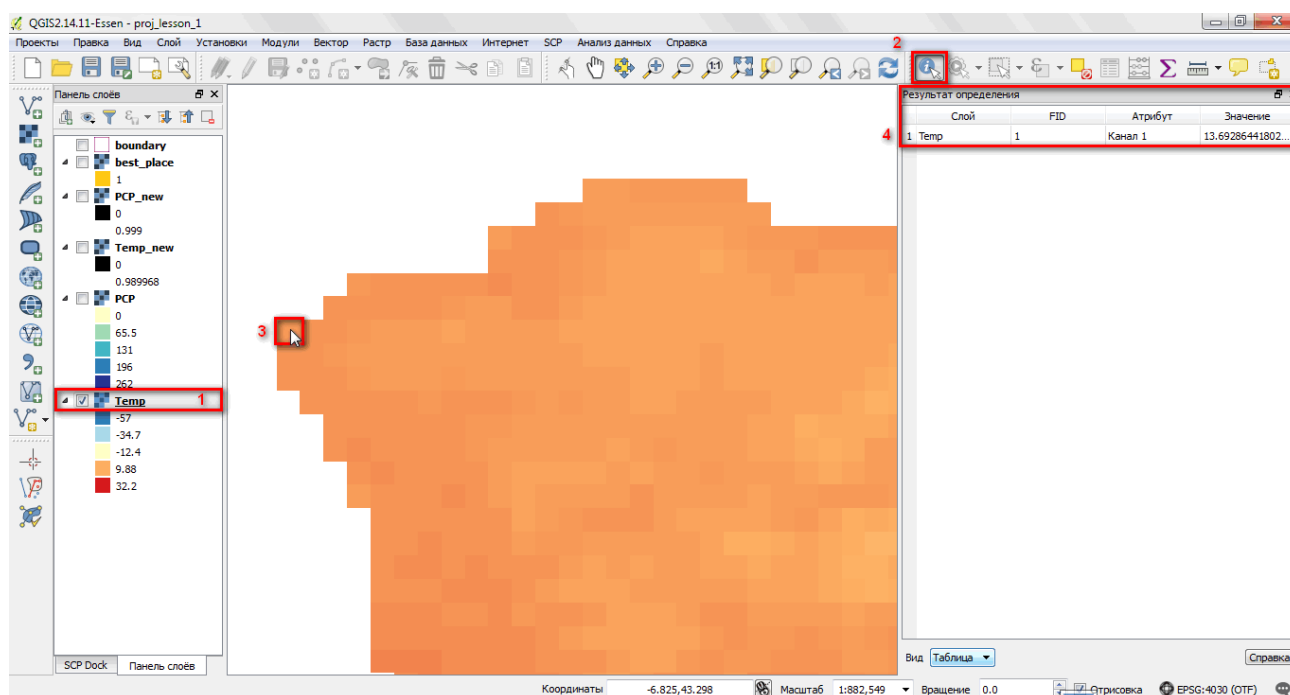
Каждая элементарная ячейка растра несет индивидуальное числовое значение, которое представляет усредненное значение описываемого фактора среды для территории, приходящейся на площадь ячейки. В случае показа рельефа на растровой карте мы не увидим в ячейках значений высот высочайших вершин – только усредненную высоту всего фрагмента территории над уровнем моря. Это понятно, - поскольку в площадь ячейки помимо вершины будут включены как ее склоны, так, в зависимости от разрешения растра, и ближайшие к ней долины. Если нам нужно более детальное представление и соответствующая информация имеется, - частота сетки растра может быть увеличена. Растр может представлять информацию с детализацией до километров, метров, сантиметров и т.д. Для составления растровых карт такой детализации потребуются соответствующие базы данных. Также при этом возрастают объемы файлов и требования к программному обеспечению и мощности компьютера.

Каждому числовому значению растра может быть сопоставлен определенный цвет. Цветовые палитры-легенды позволяют визуализировать растр, представить его в цвете.



Один и тот же растр можно представить в самой разной гамме цветов и выбрать вариант, наиболее удобный для визуального восприятия и анализа. Числовые значения клеток растра при изменении цветов не меняются.

Числовые значения каждой клетки растра могут быть определены с помощью инструмента «пиксельная пипетка» (в QGIS инструмент **Определить объект** ). После выбора пиксельной пипетки, кликнув на любую точку растра, можно получить ее числовое значение.



По сути растр представляет собой геопривязанную цифровую матрицу и математические действия с растрами возможны, такие же, что и с матрицами. С растрами одинакового разрешения на одну и ту же территорию можно производить различные арифметические действия: складывать, перемножать, делить... (операции растровой алгебры). Ячейкам растра заданного диапазона можно присваивать новые числовые значения (операции реклассификации). Эти возможности положены в основу технологий геопространственного анализа и моделирования.

### **Виды растров:**

- 1) Графический негеопривязанный растр - например, отсканированная карта.
- 2) Геопривязанный растр - например, отсканированная геопривязанная карта.
- 3) Геопривязанный grid растр - это растр, каждая ячейка которого несет числовую характеристику поля значений картированного объекта. К растрам этого типа относятся цифровые модели рельефа, карты полей температур. Материалы космического зондирования в большинстве случаев представляются пользователям в виде гридов. Именно с третьим видом растра возможны операции растровой алгебры и реклассификации.

### Приложение 3. Системы координат и проекции

Работая с пространственными данными в ГИС, необходимо иметь представление о таких понятиях, как “система координат” и “проекция”.

Любые пространственные объекты на карте должны описываться пространственными координатами. Существует 2 типа координат: географические и проецированные.

В первом случае, мы как бы работаем с данными, отображаемыми на глобусе. Местоположение объектов описывается значениями долготы и широты – сферическими угловыми координатами (единица измерения - градусы). На практике вместо глобуса используют эллипсоид (или сфероид), который лучше описывает форму Земли. Он характеризуется размерами большой и малой полуосей. Не существует одного универсального эллипсоида, как и универсальной географической системы координат. Как правило, в некоторых государствах имеются свои национальные эллипсоиды и системы координат. Например, в СССР и России подавляющее большинство топографических карт используют эллипсоид Красновского, на котором базируется система координат Пулково - 1942. Другая система, а вместе с ней и эллипсоид, получившая сегодня широкое распространение – универсальная общеземная система WGS -84 (с одноименным эллипсоидом).

Недостаток географических координат заключается в том, что они не позволяют производить вычисления пространственных характеристик объектов. Для этого географические координаты необходимо задать (спроецировать) на плоскости, в прямоугольных координатах. Простыми словами, разрезать наш глобус и разложить на столе. Переход от географических координат к проецированным осуществляется с помощью математических зависимостей. Таким образом, за понятием “проекция” стоит некая математическая формула перехода от сферических координат к плоским. Таких формул может быть множество. Все проекции можно подразделить на 3 больших семейства: цилиндрические, конические и азимутальные.

При выборе проекции для своей работы, необходимо учитывать одну их важную особенность. Перенести изображение с глобуса на плоскость без искажений невозможно. На карте всегда будут присутствовать искажения углов, расстояний, либо площадей. Поэтому, в зависимости от типа искажений, проекции можно разделить на равноугольные (отсутствуют искажения углов и, следовательно формы объектов), равновеликие (отсутствуют искажения площадей), равнопромежуточные (отсутствуют искажения длин - расстояния остаются неизменными в определенных направлениях). Выбор конкретной проекции должен быть обусловлен сущностью решаемой задачи (очевидно, что для вычисления площадей распространения какого-нибудь растительного вида на территории России, наш выбор падёт в сторону равновеликой проекции).

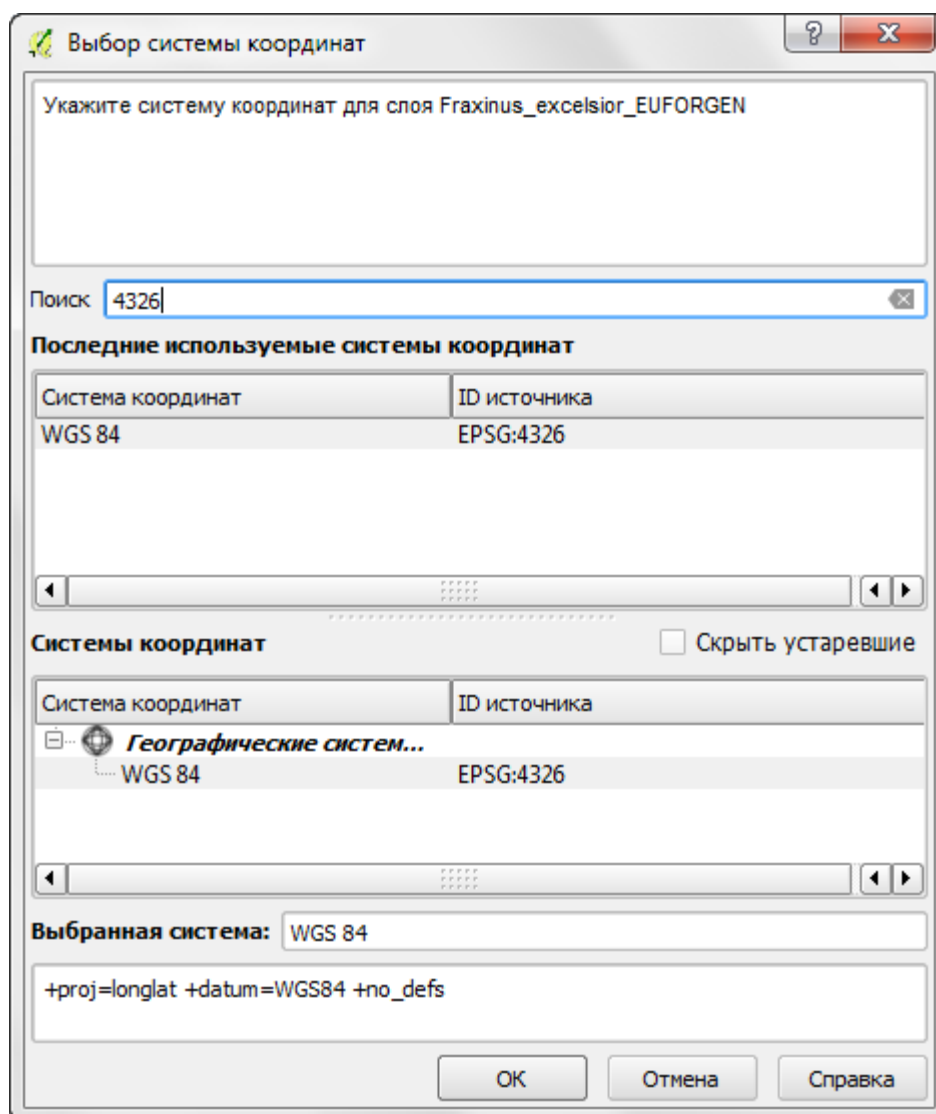
В качестве дополнительной информации рекомендуем ознакомиться с обзорными статьями на сайте сообщества GIS-Lab:

- [Введение в геоинформационные системы. Системы координат и проекции](#)
- [Краткое введение в ГИС. Часть 7: Системы координат](#)

#### ***Внутренняя и внешняя система координат в ГИС***

В ГИС существует понятие внутренней и внешней системы координат. Внутренняя проекция – это физическая проекция, записанная в самом файле. Информация о проекции файла хранится в служебном файле с расширением .prj. Если он отсутствует, то при загрузке векторного слоя QGIS попросит вас задать систему координат вручную.

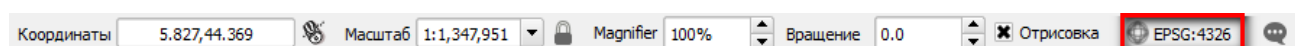




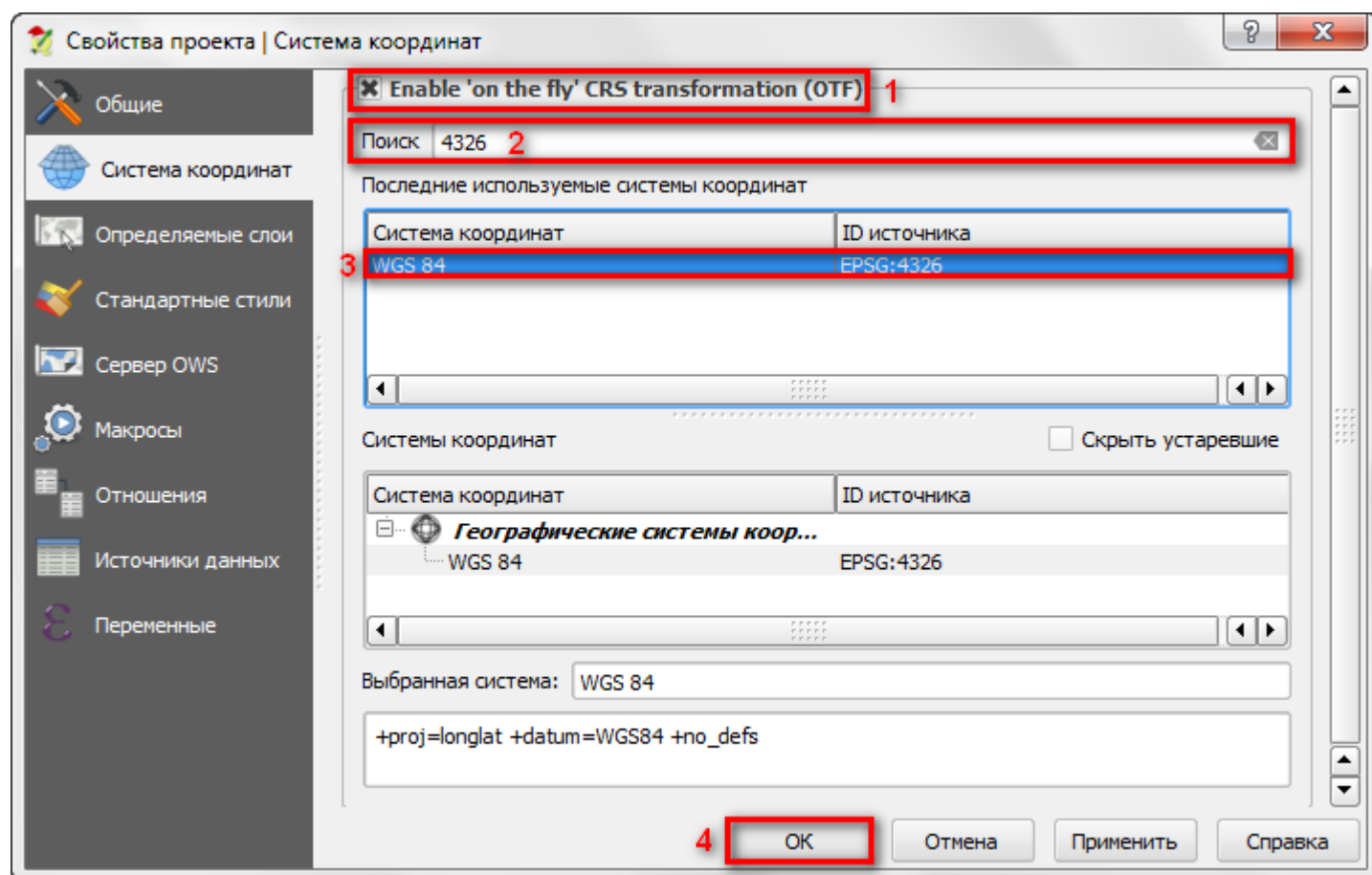
Довольно часто возникает ситуация, когда данные, с которыми вам необходимо работать, хранятся в различных системах координат. Например, у вас имеется снимок на какую-то территорию, где вы накануне проводили полевые работы, и точки GPS, которые вы получили в поле, работая на той самой территории. Допустим, точки получены в системе координат WGS-84, а снимок хранится в проекции UTM (Universal Transverse Mercator). Если мы подгрузим оба слоя данных в проект, то они “разлетятся” в пространстве.

Для решения данной проблемы во многих ГИС, в том числе и QGIS, реализована функция перепроецирования “на лету”. Это означает, что все данные будут приводиться к единой внешней системе координат, при этом физическая проекция файлов (внутренняя) не поменяется. Активируя перепроецирование “на лету” наши данные лягут друг на друга.

Работа с внешней системой координат осуществляется через свойства проекта. В нижней части области карты нужно нажать на название текущей системы координат проекта.

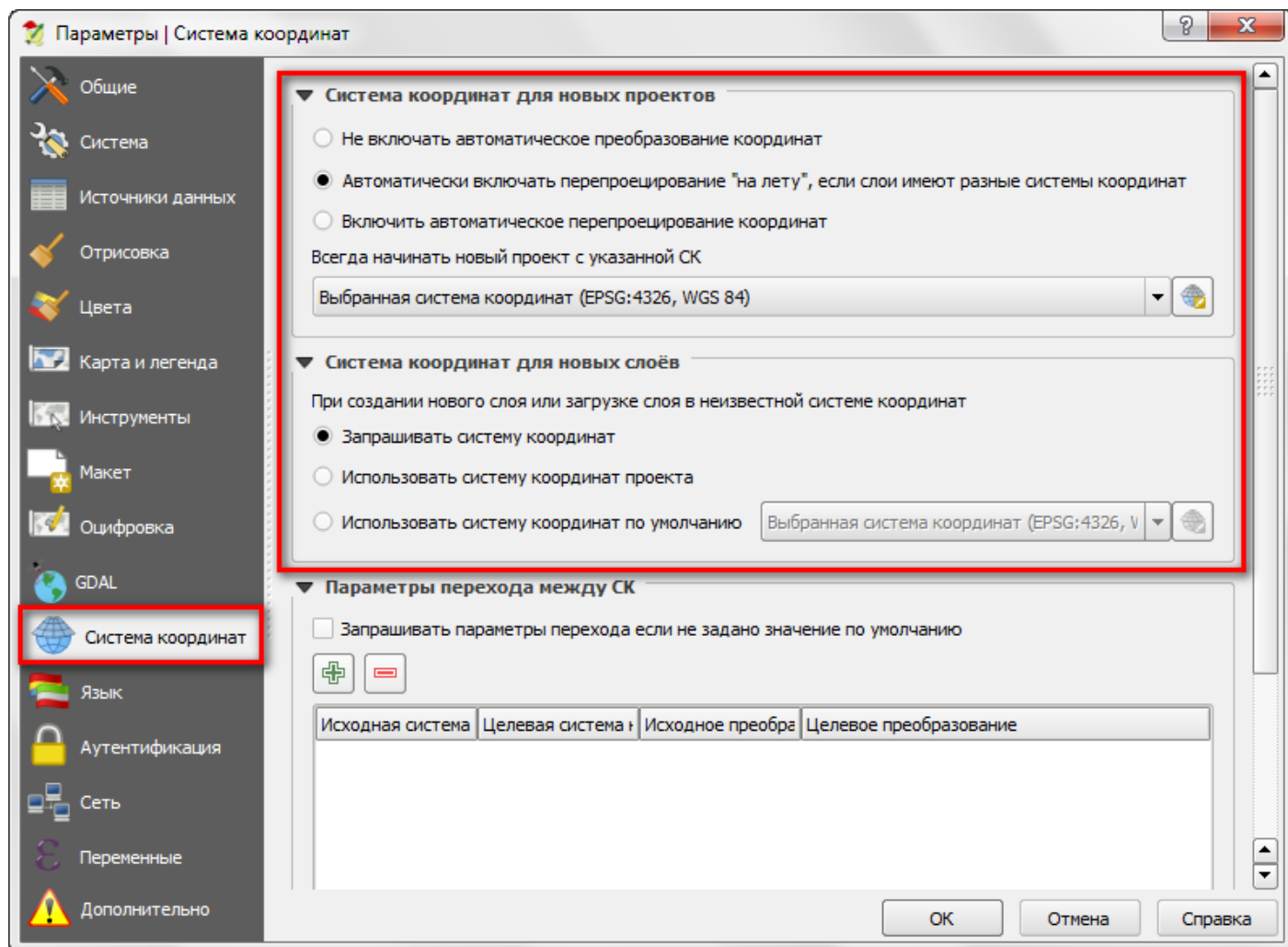


В появившемся диалоге необходимо активировать функцию **Enable ‘on the fly transformation (OTF)’** (1) и выбрать из списка (3) или с помощью строки поиска (2) внешнюю систему координат для проекта.



После чего в нижней части области карты справа от названия проекции появится аббревиатура (OTF).

Дополнительными настройками по работе с внешней системой координат можно управлять с помощью диалога **Параметры:** пункт меню **Установки\Параметры\закладка Система координат.**



Несмотря на такую замечательную возможность трансформации данных “на лету”, всё же рекомендуется менять внутреннюю физическую привязку. Это позволит минимизировать количество ошибок и проблем, с которыми вы можете столкнуться в дальнейшем, работая с обширным инструментарием QGIS.

## Приложение 4. Геопривязка карты по координатной сетке

Рассмотрим альтернативный способ привязки растров: по картографической сетке. В QGIS эта процедура выполняется не совсем очевидным образом. Привязка будет осуществляться на примере карты из [практикума 2.2.](#): *Map\_Fraxinus\_excelsior.tif* (Карта распространения ясеня *Fraxinus excelsior* на территории Европы).

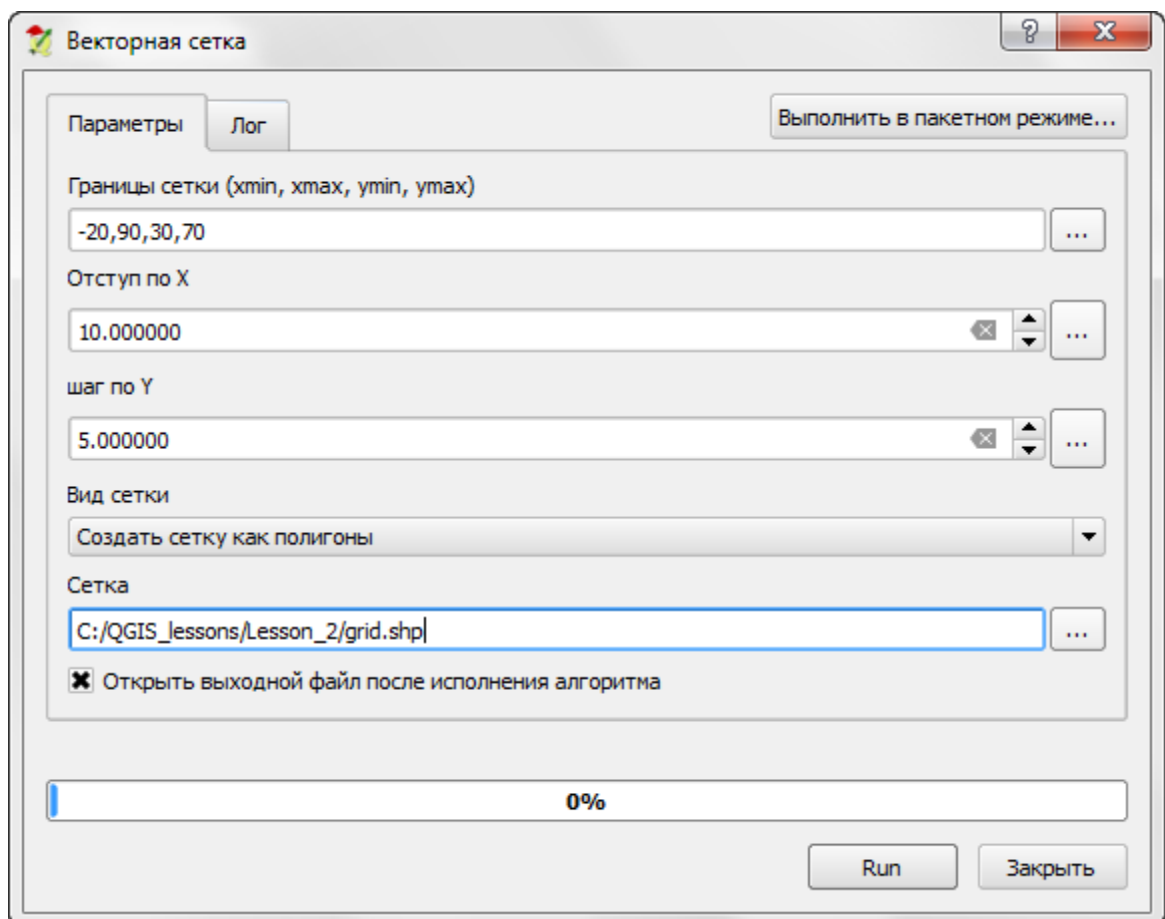
### 1. Создание сетки для привязки карты

Для начала необходимо создать векторную сетку.

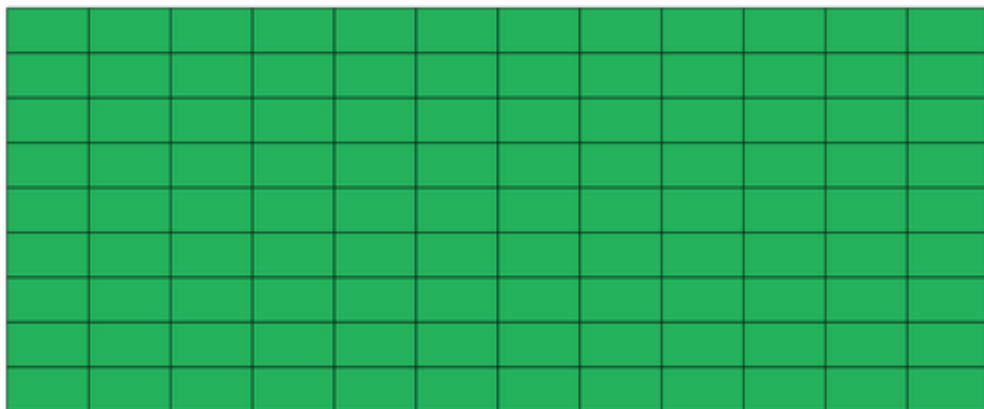
Установите для проекта систему координат WGS-84 (EPSG: 4326) ([см. приложение 3](#)).

Вызовите диалог **Векторная сетка: Вектор\Выборка\Векторная сетка**.

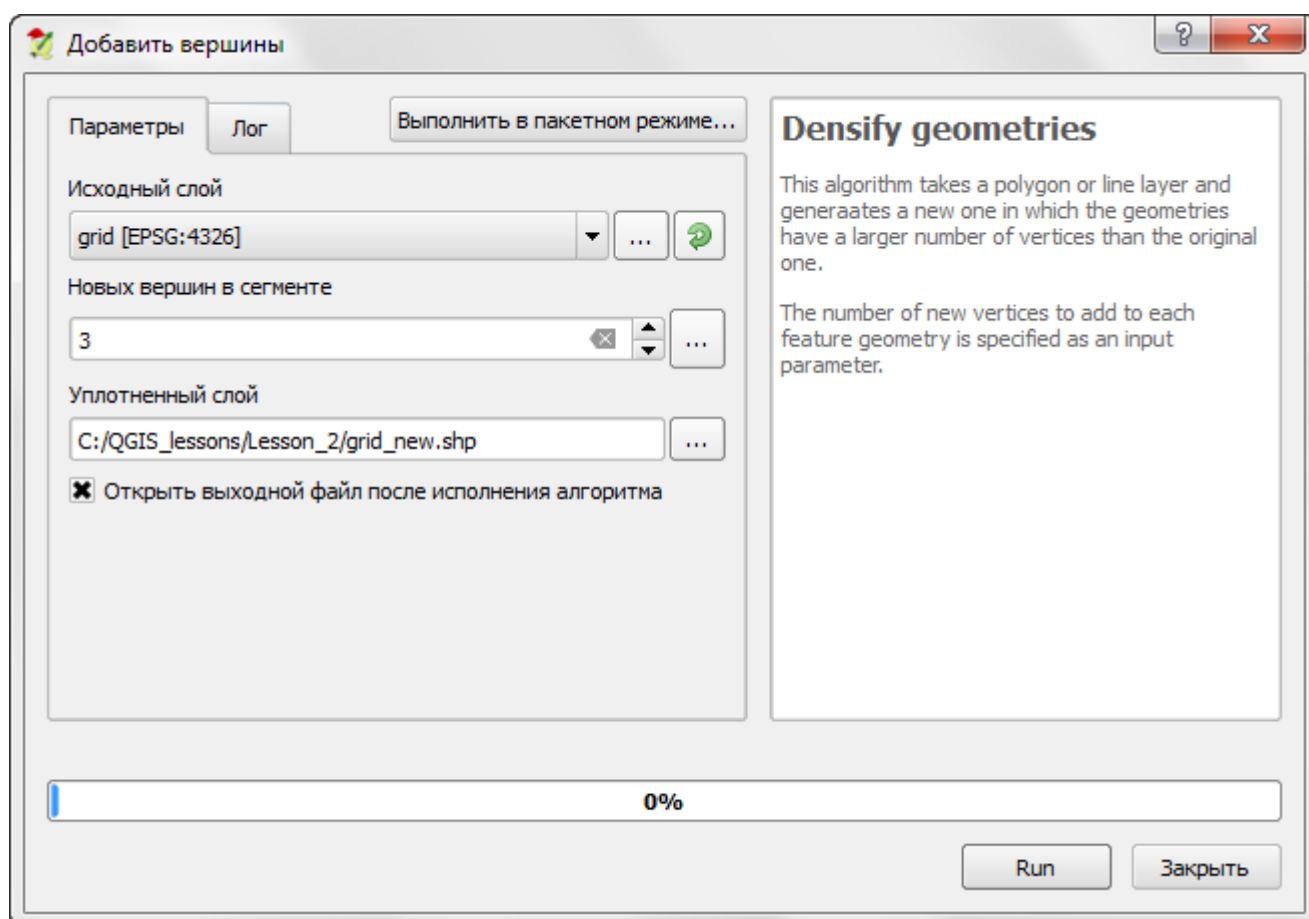
Задайте такие же параметры, как на рисунке ниже:



Запустите процесс создания вектора сетки: **Run**. Результат появится в панели слоёв под названием *Сетка*.

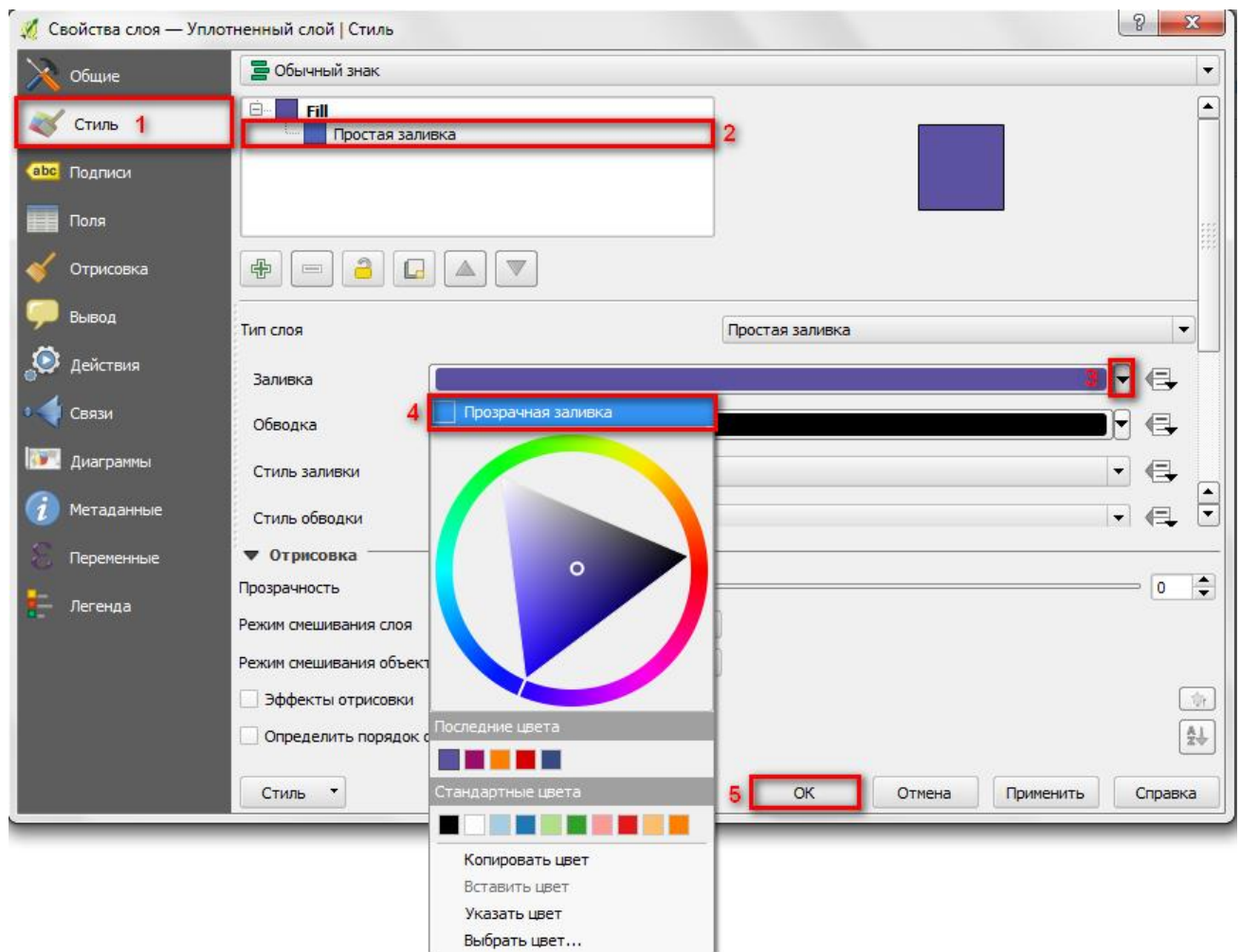


Добавим к полигонам сетки вершины, чтобы при перепроецировании линии параллелей имели плавные изгибы: **Вектор\Обработка геометрии\Добавить вершины**. Для каждого сегмента полигона сетки добавим по три вершины (см. набор параметров на рисунки ниже).

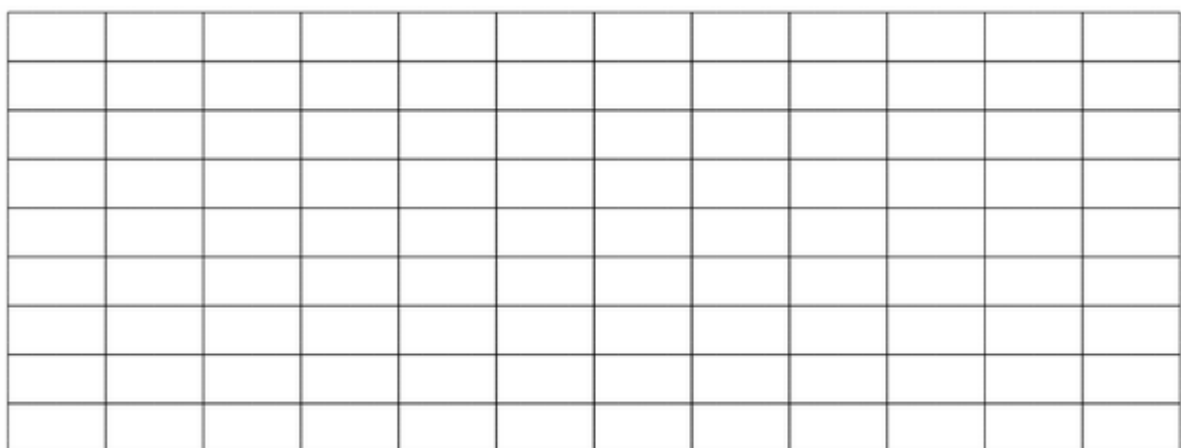


На панель слоёв созданный вектор сетки появится под именем *Уплотненный слой*.

Уберите заливку полигонов: **Свойства слоя\вкладка Стил**ь (1-5).



Сетка готова к дальнейшей работе.



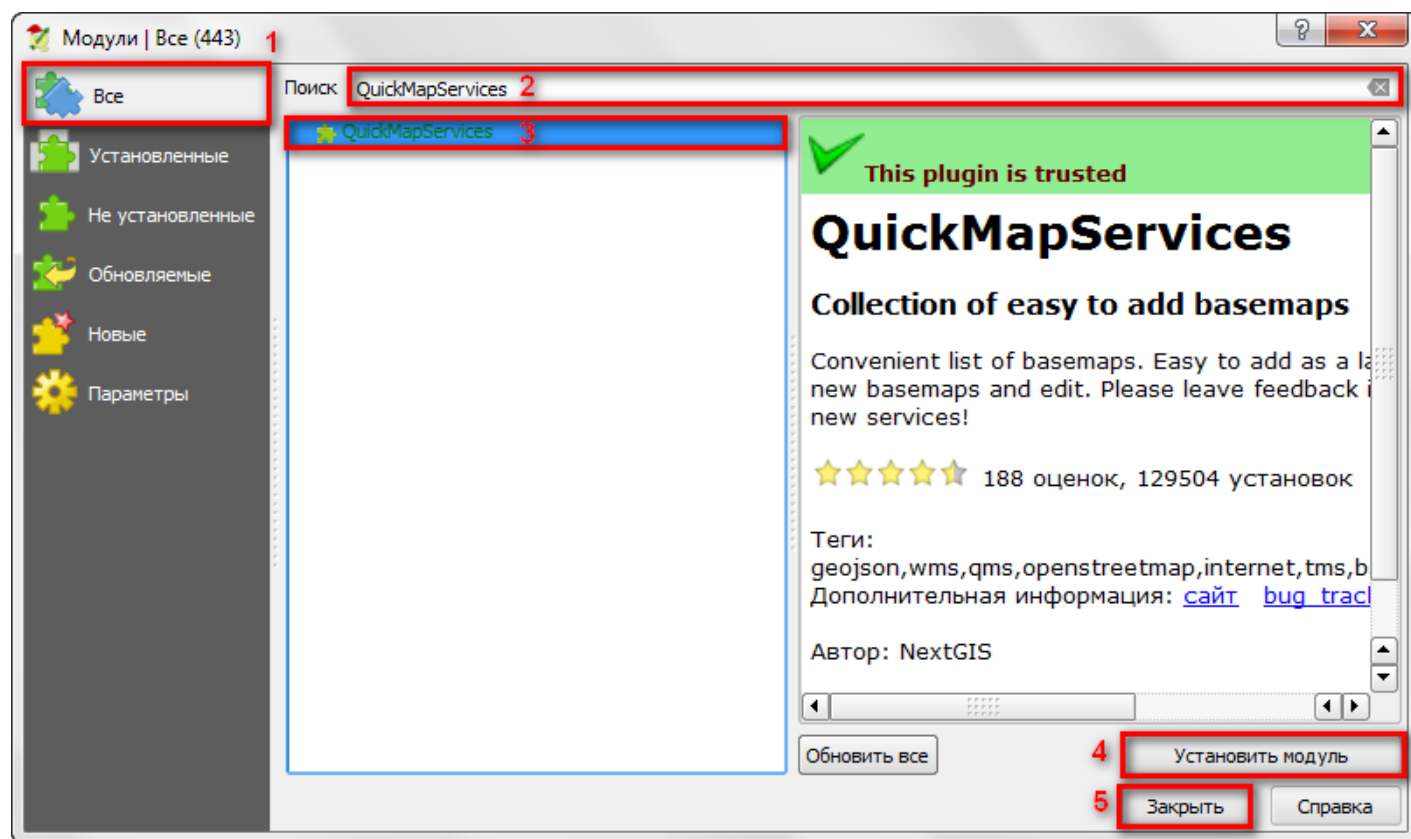
## 2. Привязка по координатной сетке

Загрузите в панель слоёв векторный файл созданной ранее сетки, если это ещё не было сделано.

Теперь сравним векторную сетку, которую мы только что загрузили с координатной сеткой нашей карты. Для удобства сравнения давайте подгрузим картографический сервис OSM (Open Street Map). Для этого необходимо подключить модуль **QuickMapServices**. Через пункт

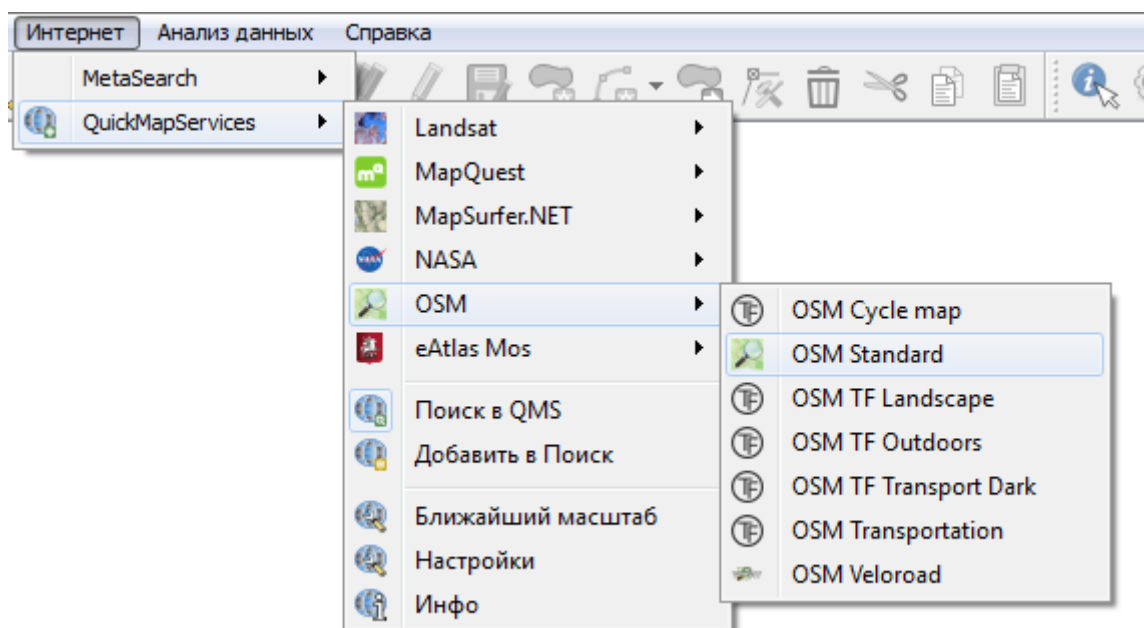


меню **Модули\Управление модулями...** откройте диалог **Модули**. Перейдите на вкладку **Все** (1). В строке поиска введите: *QuickMapServices* (2). Выделите результат (3) и установите модуль (4). Дождитесь окончания установки и выйдете из диалога (5).

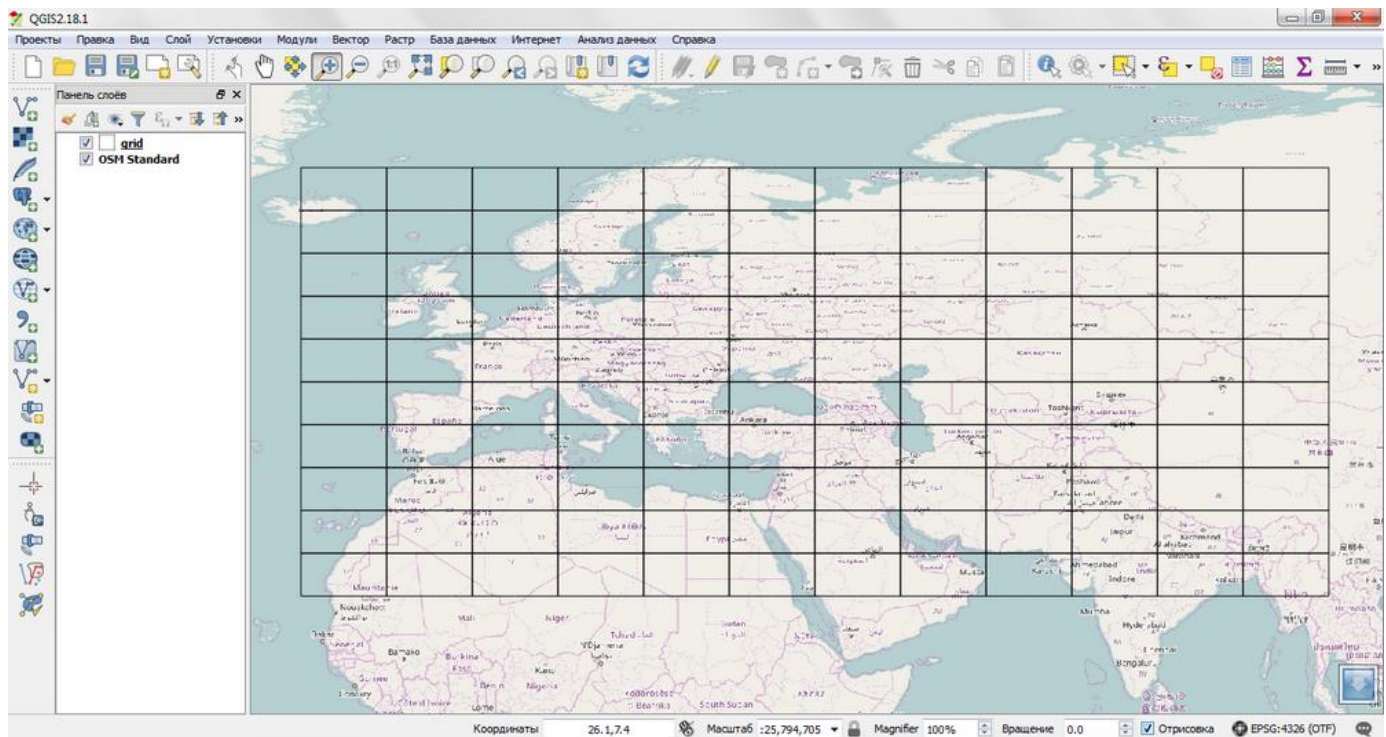


В пункте меню **Интернет** появится загруженный нами модуль **QuickMapServices**. Раскройте список модуля, перейдите в пункт **OSM** и выберите **OSM Standard**.

*Примечание. Название слоя OSM может быть другим (например, OSM Mapnik).*

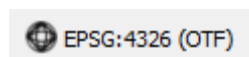


В области карты отобразиться одноименный слой с картой мира.



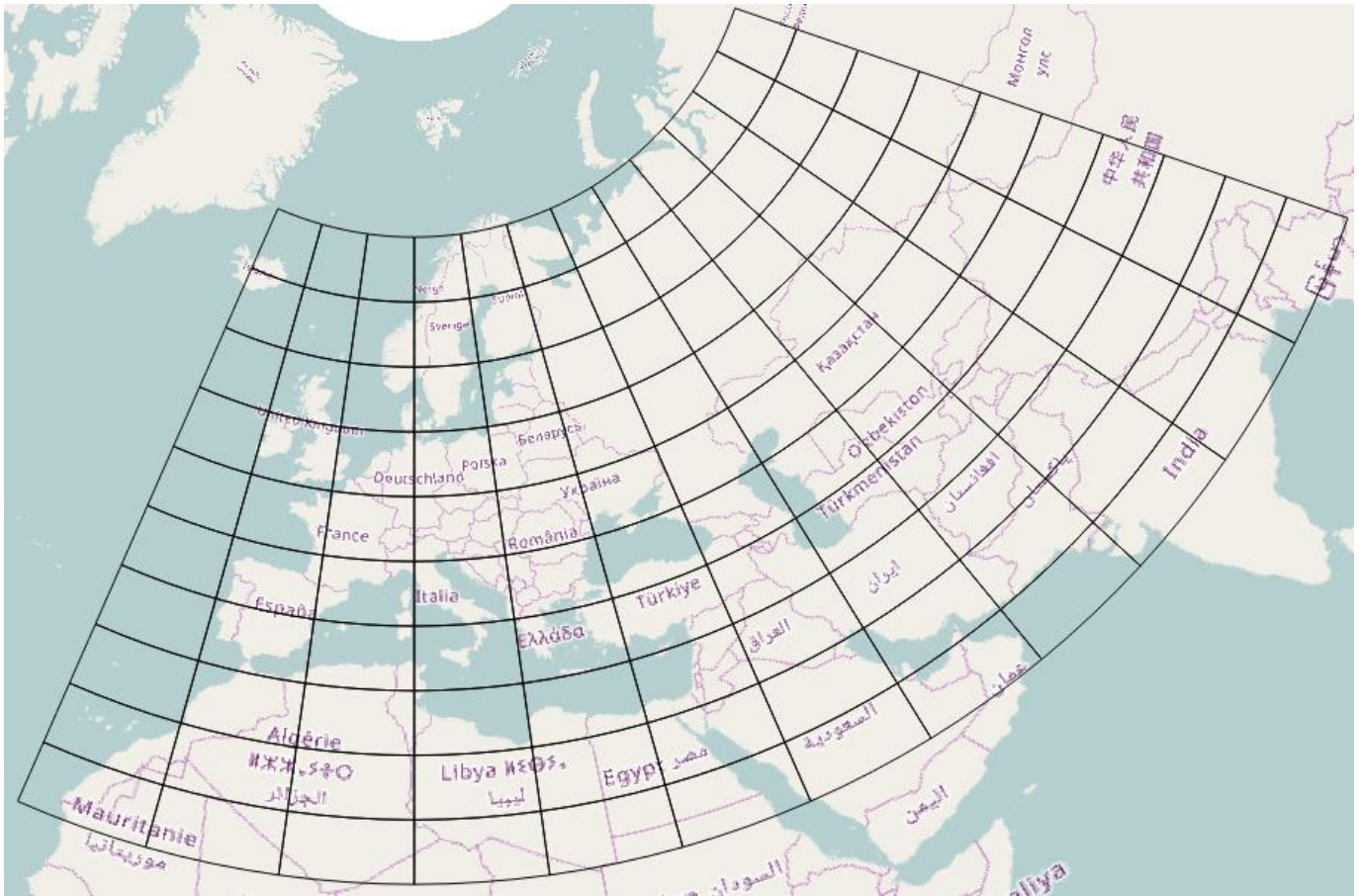
Сравним загруженную сетку с сеткой, изображенной на карте. Очевидно, что они не похожи друг на друга. Векторная сетка *grid* имеет прямые взаимно перпендикулярные меридианы и параллели. Меридианы и параллели карты *Fraxinus excelsior* также пересекаются под прямым углом, но меридианы – прямые, а параллели – кривые, дуги окружностей. Для того, чтобы привязать растр, нам необходимо привести содержимое в области карты (карту OSM и сетку *grid*) в проекцию, в которой была составлена карта *Fraxinus excelsior*. Известно, что она была составлена в равнопромежуточной конической проекции. В библиотеке проекций QGIS она будет иметь название *Europe\_Equidistant\_Conic* (код *EPSG: 102031*).

Установим внешнюю проекцию для всех данных проекта. Кликните на строку с обозначением системы координат проекта в правом нижнем углу.



Откроется диалог **Свойства проекта|Система координат**. Если у вас не была включена опция перепроецирования “на лету” – активируйте её. В строке поиска введите *Europe\_Equidistant\_Conic* или код *EPSG 102031*. Выделите результат поиска, нажмите **ОК**.

Теперь все данные проекта отображаются в равнопромежуточной конической проекции. На сетке также появились подписи меридианов и параллелей. Сравните полученный результат с картой.




Настройте формат отображения координат: диалог **Свойства проекта\Система координат\** вкладка **Общие\В** группе настроек **Coordinate Display** для опции **Display Coordinates using** поменяйте **Map units** (метры) на **Десятичные градусы**. **OK**.

Всё готово для начала привязки карты.

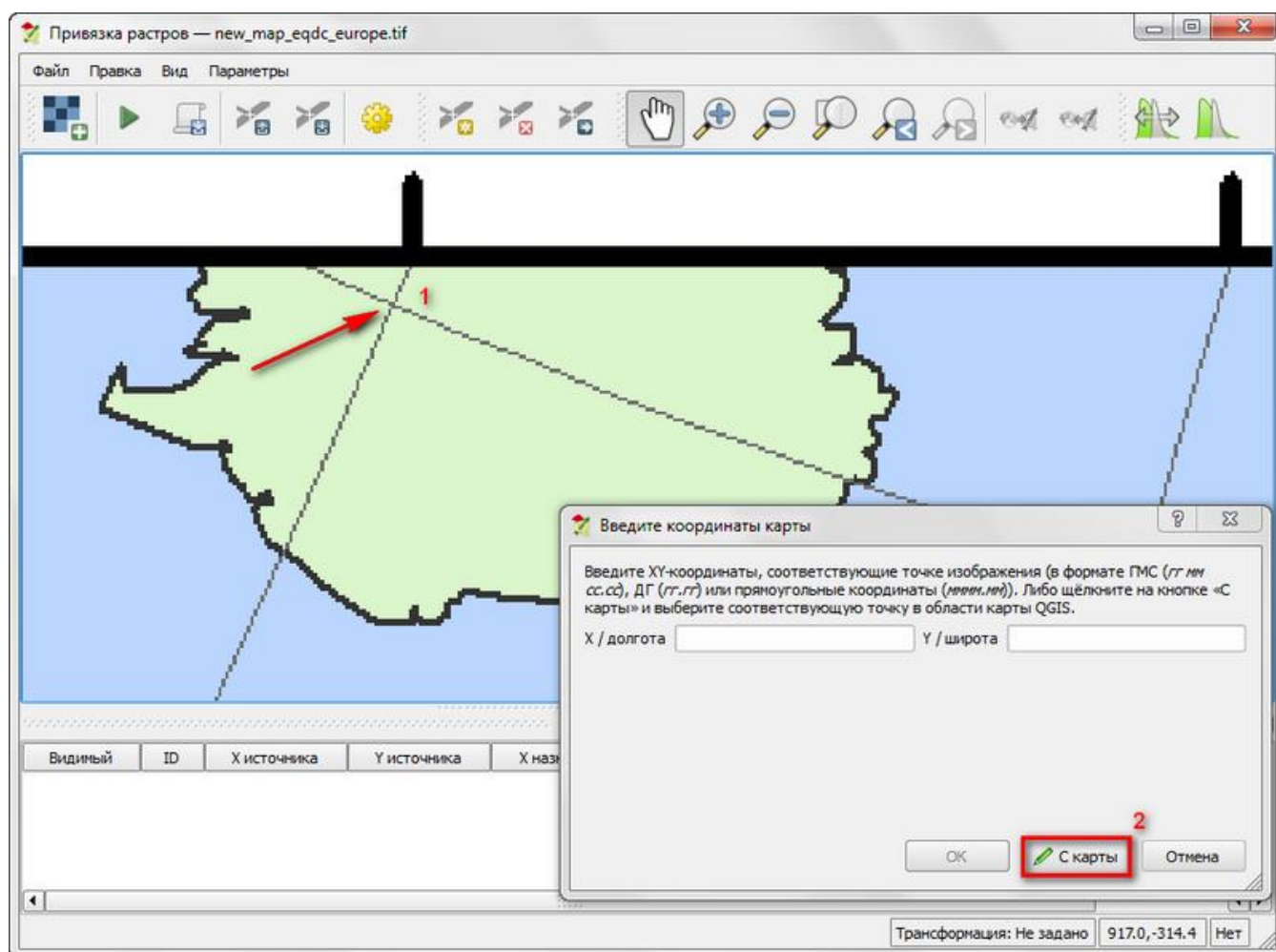
Из пункта меню **Растр** выбираем инструмент **Привязка растров...**

Появится диалог **Привязка растров**. Откройте растр карты: **Файл\Открыть растр\Map\_Fraxinus\_excelsior.tif**. В верхней части диалога появится растр. Нижняя часть предназначена для отображения таблицы с опорными точками.

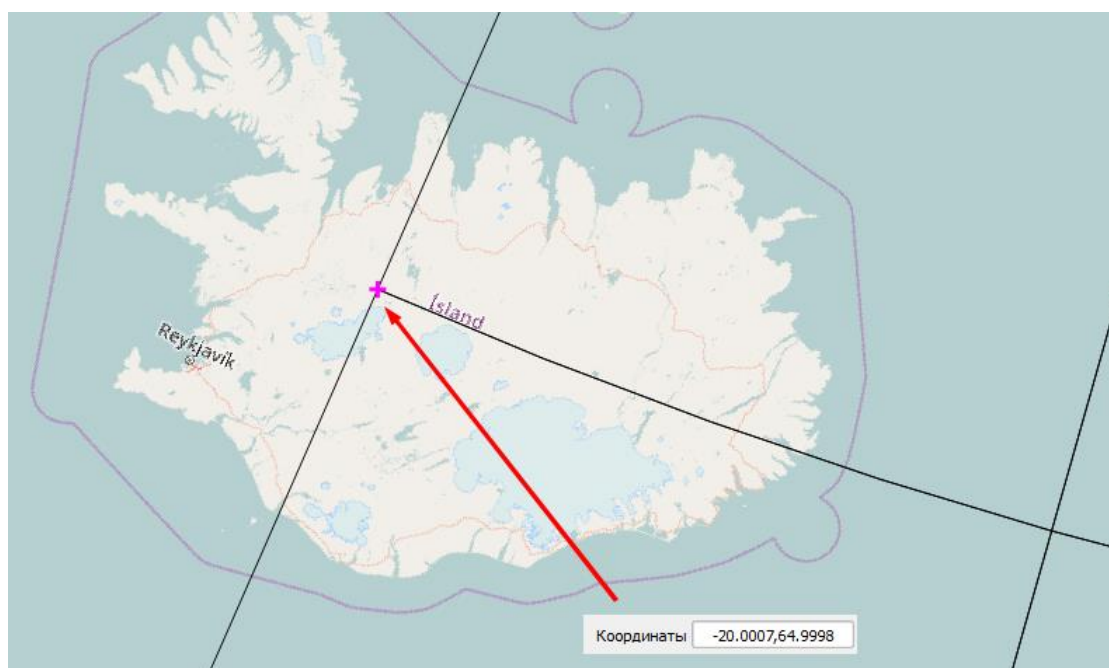
Для корректной привязки рекомендуется выбрать не меньше 4-х точек, расположенных равномерно по растру (в углах).

Выберите инструмент **Добавить точку**  . Наведитесь в левом верхнем углу на первую точку с координатами -20 deg западной долготы и 65 deg северной долготы и кликните левой кнопкой мыши (1). Появится окно ввода координат. Мы не будем вводить данные вручную, а возьмём координаты с подготовленной нами ранее сетки. Нажмите **С карты** (2).





Диалог привязки свернётся, и вам будет предоставлена возможность выбрать точку соответствия на карте. Для нахождения нужной точки вам может помочь карта OSM. Рекомендуем также контролировать себя, следя за бегущими координатами широты и долготы, отображаемые внизу области карты.



После того, как вы поставите точку на опорной карте, перед вами снова появится диалог вязки. Поля для ввода координат будут заполнены значениями X и Y, снятых вами с опорной точки. Подтвердите ввод, нажав **ОК**.

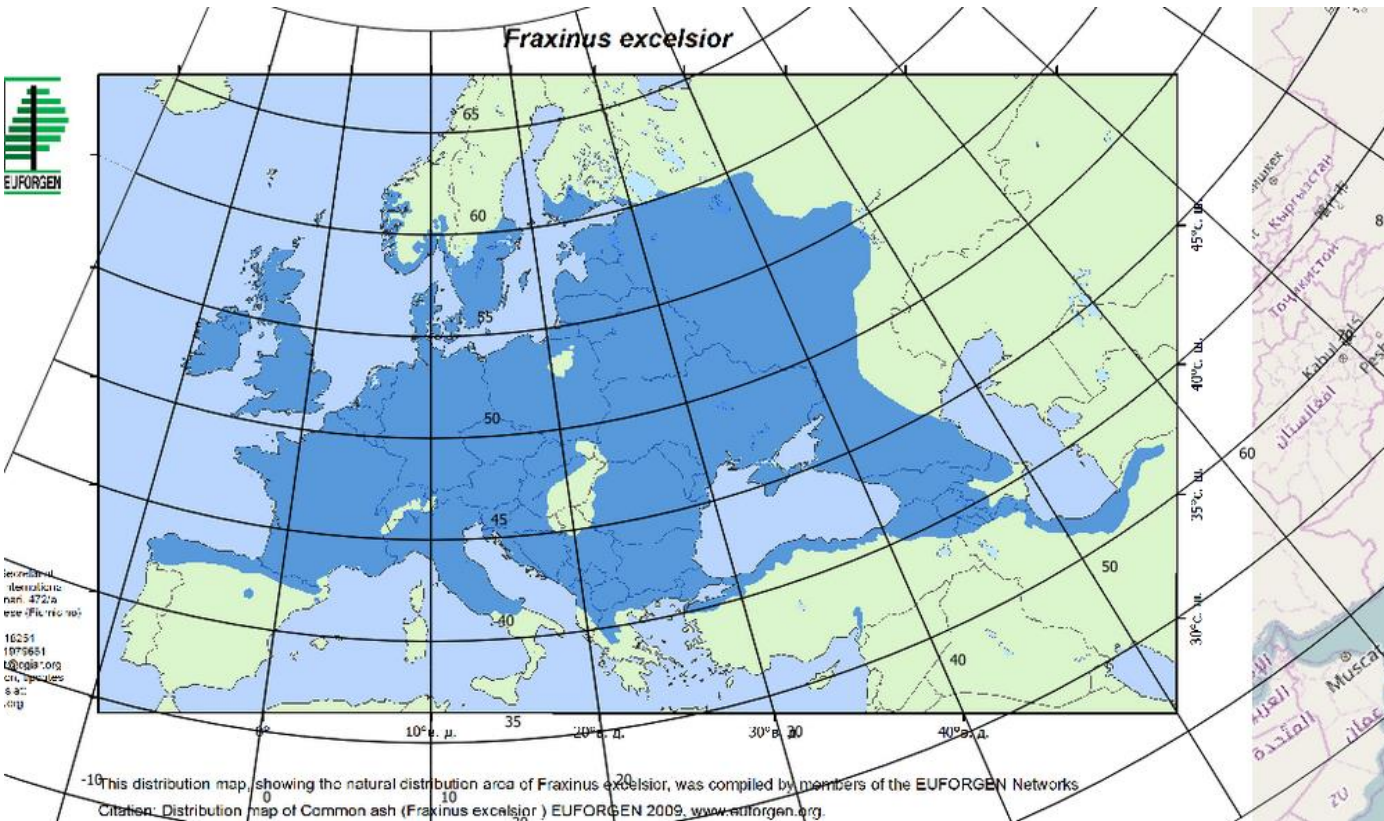
В нижней части диалога в таблице появится первая введенная вами точка. Аналогично введите остальные 3 точки: 70 в.д., 50 с.ш.; 50 в.д., 30 с.ш.; -10 з.д., 40 с.ш.

Далее необходимо задать параметры трансформации раstra: **Параметры\Параметры трансформации**. В диалоге в группе **Параметры трансформации** выбрать: **Тип трансформации** – *Полиномиальная 1*, **Метод интерполяции** – *Линейная*, **Целевая система координат** – *Europe\_Equidistant\_Conic*. В группе настроек **Настройки целевого раstra** укажите название и путь выходного раstra. Проверьте, что опция **Открыть результат в QGIS** включена. **ОК**.

Проконтролируйте величину невязки в таблице опорных точек. При необходимости уточните положение точек.

Запустите процесс привязки раstra:

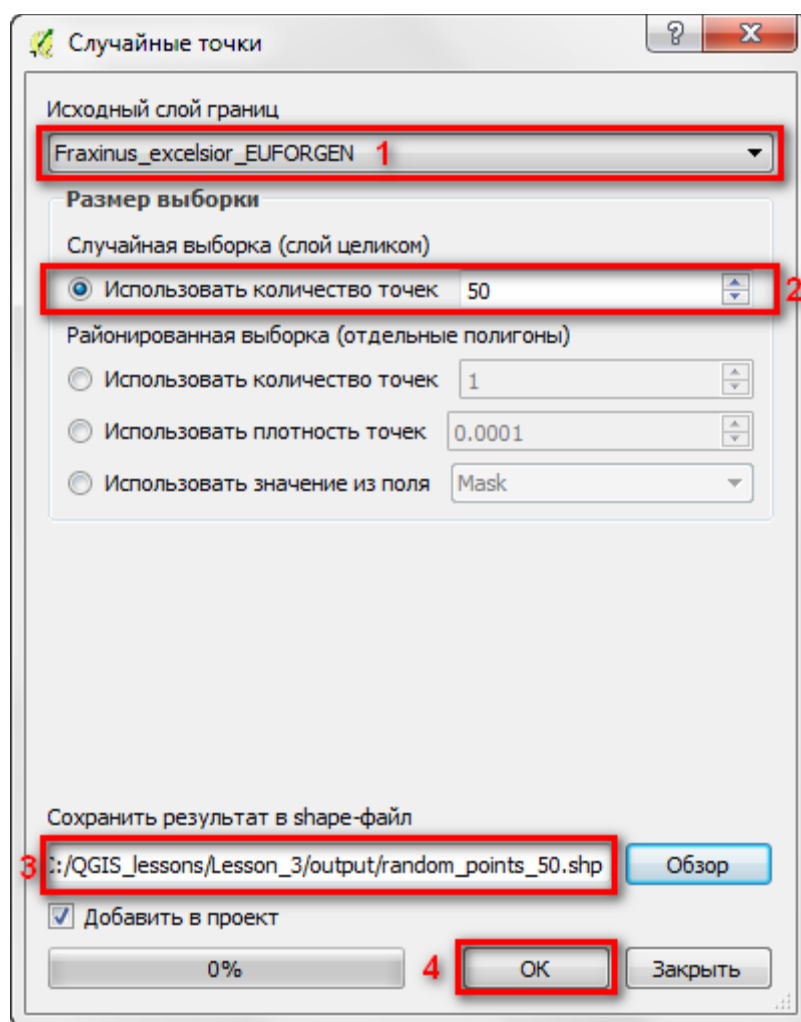
Новый растр должен загрузиться в проект и “лечь” под сетку. Если линии векторной сетки ложатся на сетку карты, то можно утверждать, что привязка прошла успешно.



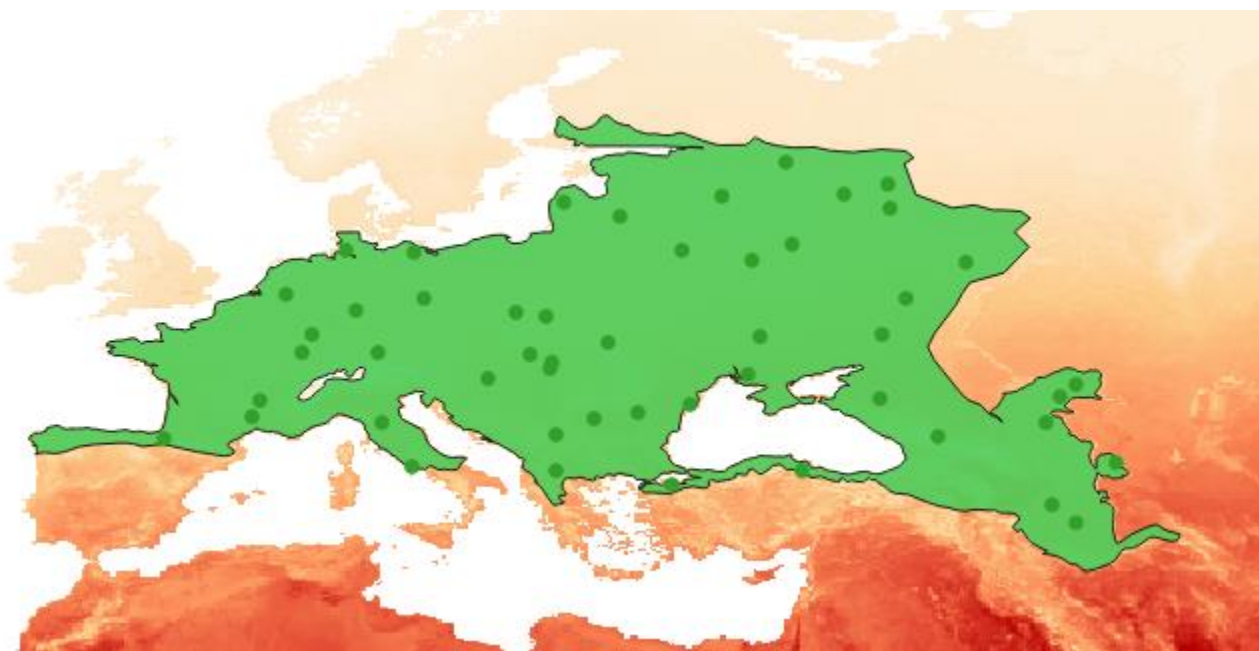
## Приложение 5. Экстракция значений растра по точкам (инструмент *Point Sampling Tool*)

Для экстракции значений растра по векторным точкам необходимо иметь растр, с которого необходимо получить значения пикселей и векторный слой точек. В качестве примера возьмём растр *SUM\_T\_above10.tif* из 3-его практикума, векторный слой точек создадим в случайных местах исходного растра, но в пределах векторного слоя ареала распространения ясеня *Fraxinus\_excelsior\_EUFORGEN* (из 3-его практикума).

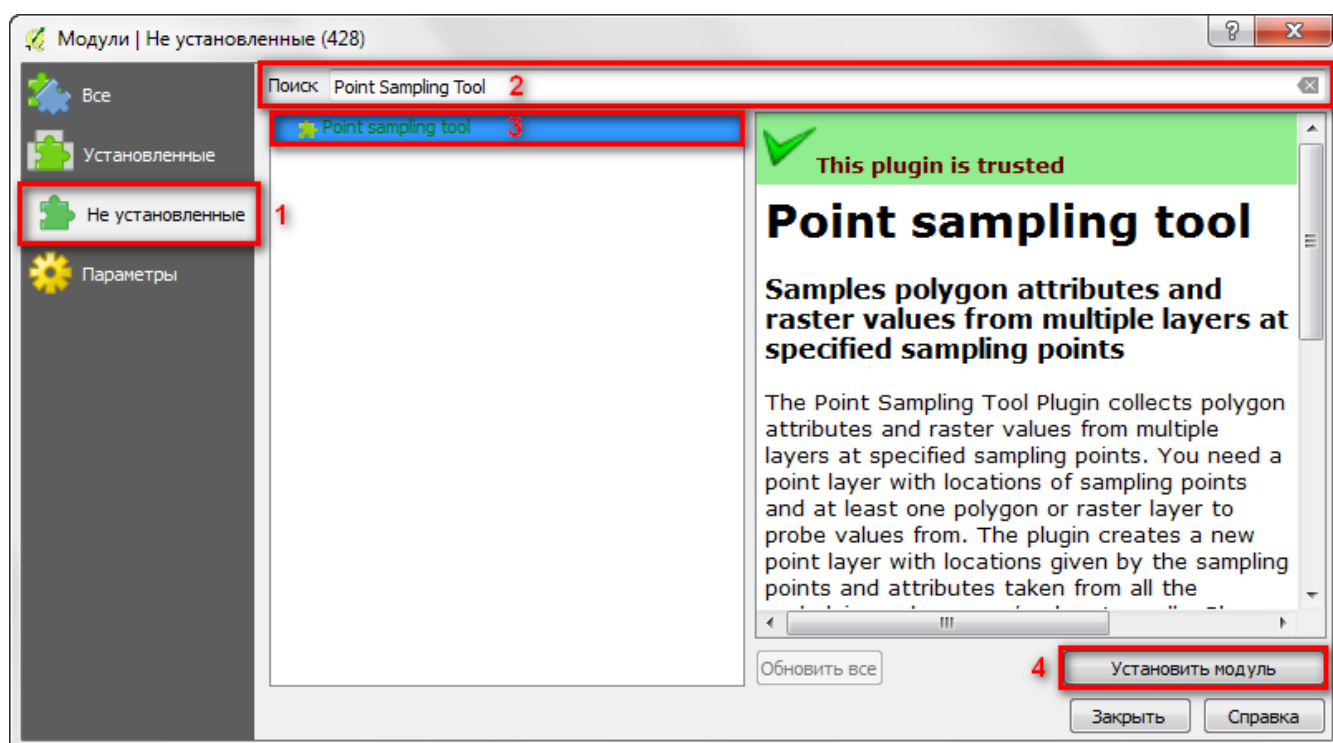
Для создания слоя случайных точек воспользуемся одноименным инструментом: **Вектор\Выборка\Случайная точка**. В диалоге инструмента из списка для пункта **Исходный слой границ** выберете слой *Fraxinus\_excelsior\_EUFORGEN* (1), в пределах которого будут создаваться точки. В группе настроек **Размер выборки** задайте количество точек, которое будет сгенерировано случайным образом (2). Укажите путь и имя выходного слоя (3). **ОК** (4).





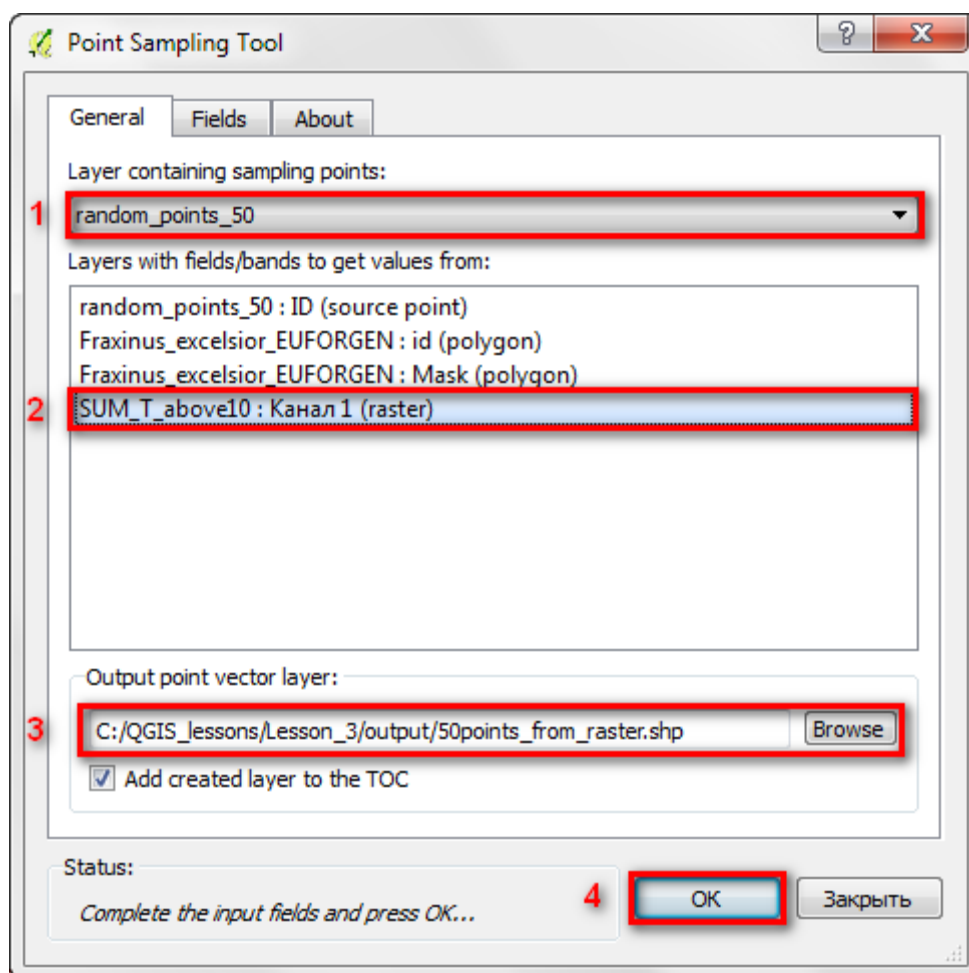


Инструмента **Point Sampling Tool** в QGIS нет, поэтому его нужно предварительно установить. Откройте диалог **Модули: Модули\Управление модулями...** Перейдите на вкладку **Не установленные** (1). В строке **Поиск** введите *Point Sampling Tool* (2). Выделите результат поиска и установите модуль (4).



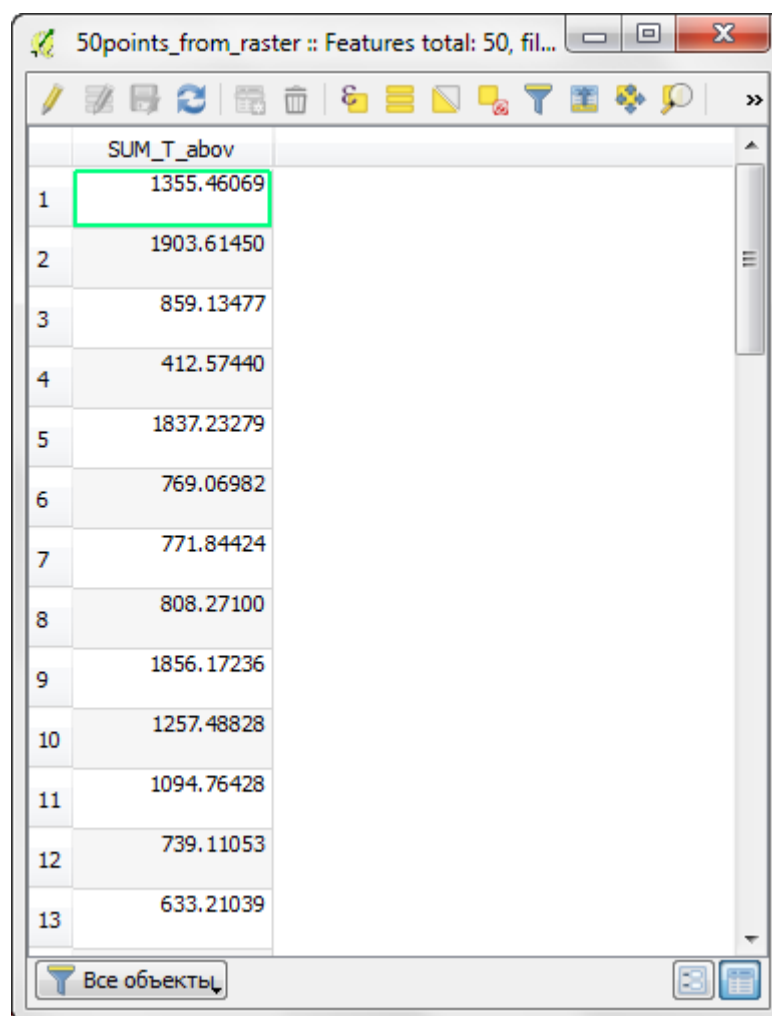
Дождитесь успешной установки модуля.

Откройте диалог **Point Sampling Tool: Модули\Analysis**. Из выпадающего списка для **Layer containing sampling points** выберите слой точек (1). Из списка **Layer with fields/bands to get values from:** выберите растр, для которого нужно произвести экстракцию (2). Укажите путь и название нового векторного слоя точек (3). **ОК** (4).



Новый векторный слой появится в проекте. Откройте атрибутивную таблицу: **правой кнопкой мыши по слою\Открыть таблицу атрибутов**. В таблице атрибутов создана колонка, названная именем раstra, с которого были взяты значения пикселей, а в ячейках хранятся соответствующие значения точек.

50points\_from\_raster :: Features total: 50, fil...



The screenshot shows a window titled "50points\_from\_raster :: Features total: 50, fil...". Inside the window is a table with two columns. The first column contains numbers 1 through 13, and the second column contains numerical values. The first row, with values 1 and 1355.46069, is highlighted with a green border. Below the table is a filter button labeled "Все объекты" and two small icons.

	SUM_T_abov
1	1355.46069
2	1903.61450
3	859.13477
4	412.57440
5	1837.23279
6	769.06982
7	771.84424
8	808.27100
9	1856.17236
10	1257.48828
11	1094.76428
12	739.11053
13	633.21039

Все объекты

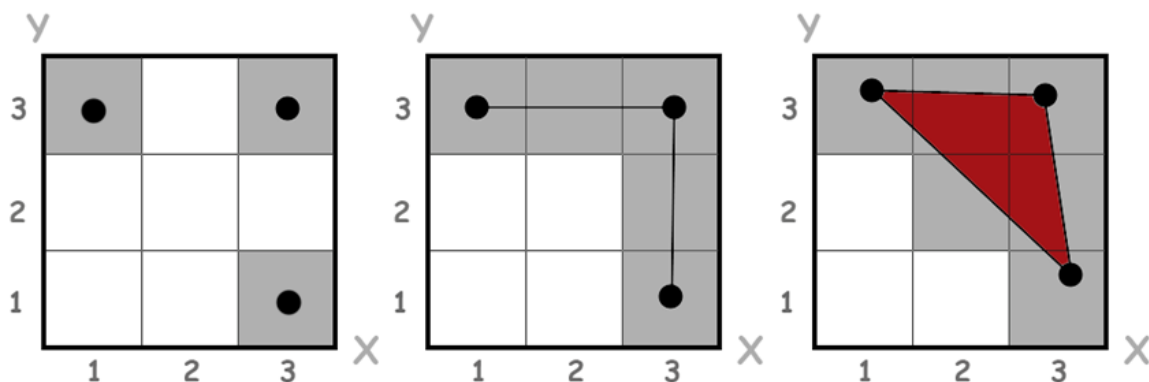
## Приложение 6. Способы представления пространственных объектов в ГИС

Способ представления пространственных объектов в ГИС напрямую зависит от выбора модели (или метода) представления географических данных. Выделим 2 основных (но не единственных) модели: растровую и векторную.

Растровый способ представления объектов предполагает разбиение пространства регулярной прямоугольной сеткой. Каждой клетке такой сетки присваивается определенное значение или его отсутствие. Значения может представлять собой как определенное свойство объекта, так и его идентификатор. Примеры растровых данных: отсканированное изображение, аэрофото- и космическая съёмка, растровая карта.

Векторный способ представления объектов предполагает их разбиение на простейшие элементы – узлы и соединяющие их линии (дуги). Любой объект может быть представлен одним из трёх типов геометрий. Если объект состоит из одной вершины (дом, отдельно стоящее дерево, населенный пункт на мелкомасштабной карте, точка геоботанического описания), то тип геометрии точечный. Если объект состоит из двух или более связанных вершин (дорога, линия электропередач, изолиния, изотерма, река, просека), то тип геометрии линейный (или тип полилиния). Если объект представлен последовательностью вершин и при этом первая и последняя вершины совпадают, то тип геометрии полигональный (лесной массив, озеро, карьер, населенный пункт на крупномасштабной карте, с/х поля). Группа векторных объектов образует векторный слой.

Запись пространственного расположения объектов для 3х типов геометрии схематично представлено на рисунке ниже:



Способ записи пространственного расположения объекта:

Растр: 101000001

111001001

111011001

Вектор: Точка(1;3)(3;3)(3;1)

Линия(1;3)(3;3)(3;1)

Полигон(1;3)(3;3)(3;1)

В простейшем растровом варианте записи сначала указывается количество строк и столбцов растра (если работа осуществляется с геопривязанным изображением, то также указывается его проекция, координаты углов в проекции и разрешение). Далее, значения каждой клетки матрицы записываются по порядку, начиная с левого верхнего угла направо по строке до конца, далее на

строчку ниже и ход записи в той же последовательности. Независимо от того, сколько значимых значения ячеек в растре, каждый раз идет запись всех ячеек раstra.

Пространственные объекты могут быть описаны набором атрибутов, представленные как текстовой, так и числовой информацией. Атрибутивная информация записывается в виде таблицы, где каждой её строке сопоставлен один объект по специальному уникальному идентификатору.

### ***Форматы данных в ГИС***

Растровая и векторная модели представлены множеством форматов данных, с которыми работает ГИС. С полным списком поддерживаемых форматов в ГИС, в том числе QGIS, можно ознакомиться по ссылке: [http://www.gdal.org/formats\\_list.html](http://www.gdal.org/formats_list.html) – для растровой модели, и [http://www.gdal.org/ogr\\_formats.html](http://www.gdal.org/ogr_formats.html) – для векторной модели.

Наиболее распространённым растровым форматом является *TIFF / GeoTIFF (.tif)*, а векторным – *ESRI Shapefile (.shp)*.

Формат TIFF / GeoTIFF может хранить информацию о пространственной привязке, а также проекции и системе координат. Помимо этого, данный формат позволяет сохранять данные без потери их качества.

Векторный формат *ESRI Shapefile* представляет собой набор связанных файлов: *.shp*, *.shx*, *.dbf* и *.prj* (могут содержаться дополнительные файлы). Каждый набор может содержать объекты только одного геометрического типа (точечный, линейный или полигональный). Формат позволяет хранить атрибутивную информацию.

Подробнее о растровых и векторных моделях можно прочитать в статьях сообщества GIS-Lab:

- Введение в геоинформационные системы. Векторные, растровые данные: <http://gis-lab.info/docs/giscourse/11-vector-raster.html>
- Краткое введение в ГИС. Часть 5: Растровые данные: <http://gis-lab.info/qa/gentle-intro-gis-5.html>
- Краткое введение в ГИС. Часть 2: Векторные данные: <http://gis-lab.info/qa/gentle-intro-gis-2.html>

## Приложение 7. Ссылки на полезные ресурсы

1. <http://www.worldclim.org/> – *WorldClim - Global Climate Data*. Климатические растровые карты на мировую территорию в ГИС формате.
2. <http://www.natureearthdata.com/> – *Natural Earth Data*. - Наборы мелкомасштабных географических данных на весь мир.
3. <http://www.gbif.org/occurrence> - Global Biodiversity Information Facility (GBIF). – База координатных данных по распространению биообъектов.
4. <http://qgis.org/ru/site/forusers/download.html> - QGIS. - Сайт загрузки программного открытого ГИС обеспечения.
5. <http://gis-lab.info/> – *GIS-Lab*. - Русскоязычный ресурс сообщества специалистов в области ГИС и дистанционного зондирования Земли.
6. <http://app.o-gis.org/o-gis/web/app.php/> - Проект o-gis. - Прототип социальной сети на основе веб-ГИС.



## Приложение 8. Материалы для выполнения заданий практикумов

Все необходимые материалы для выполнения заданий практикумов можно скачать по следующей [ссылке](#).

Структура набора данных:

