



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра прикладной и системной экологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Бакалаврская работа

На тему Геоинформационное моделирование почвенных характеристик и
эрозийных процессов в Национальном парке «Приэльбрусье»

Исполнитель Виноградов Фёдор Владимирович

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Алексеев Денис Константинович

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат географических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Алексеев Денис Константинович

(фамилия, имя, отчество)

«06» 06 2022 г.

Санкт-Петербург

2022

Оглавление

Введение.....	3
1. Физико-географическая характеристика	5
1.1 Климат.....	8
1.2 Рельеф.....	10
1.3 Геологическое строение	12
1.4 Почвы	13
1.5 Растительность	16
1.6 Ландшафты	18
2. Материалы исследования	19
2.1 Цифровая модель рельефа.....	19
2.2 Данные дистанционного зондирования земли.....	21
3. Методика работы.....	22
4. Результаты исследования	32
Заключение	43
Список литературы	45
Приложения	48
Приложение А	48
Приложение Б.....	49
Приложение В	52

Введение

Проблема эрозии почв является сложной междисциплинарной, межведомственной, интернациональной проблемой. Эрозия почв затрагивает интересы не только сельского хозяйства. Она оказывает негативное влияние на состояние водного и рыбного хозяйства, на экологическую обстановку всей территории водосборного бассейна. В течение последних 20 лет темпы прироста эродированных земель каждые пять лет составляют 6 – 7 %, т.е. до 1,5 млн. га в год.

В настоящее время главным и, пожалуй, единственным негативным последствием эрозии почв является потеря урожайности земель на сельскохозяйственных территориях. При этом упускаются такие последствия эрозии, как заиление и загрязнение водоемов, нарушение структуры ландшафтов и снижение их устойчивости к негативным факторам. Особенности эрозионных процессов таковы, что они могут начинаться с незначительных потерь мелких фракций, а заканчиваться интенсивным уничтожением всего почвенного покрова. При том, попытки сохранить почву уже на поздних стадиях эрозии являются практически бесполезными.

Тем не менее, чтобы защитить почву от эрозии даже не обязательно проводить масштабные и затратные почвозащитные мероприятия. Все зависит от степени и распределения антропогенной нагрузки на конкретной территории. Зачастую для защиты почвы и ландшафтов достаточно грамотное распределение хозяйственной деятельности в соответствии с эрозионной устойчивостью почв.

Цель работы: Оценка потенциальной водной эрозии на территории Национального парка «Приэльбрусье».

Для достижения поставленной цели поставлены следующие *задачи*:

1. Проанализировать физико-географическую характеристику района исследования для выявления особенностей развития водной эрозии;
2. Определить эрозионную способность ливневых осадков и талых вод;

3. Оценить противоэрозионную стойкость почв;
4. Выявить геоморфологические предпосылки развития эрозии;
5. Оценить влияние растительного покрова на противоэрозионную стойкость почвы.

6. Рассчитать среднегодовые потери почвы от водной эрозии с помощью ГИС-технологий и оценить степень их выраженности;

В качестве объекта исследования был выбран национальный парк «Приэльбрусье», являющийся особо охраняемой природной территорией (далее – ООПТ) федерального значения. В качестве предмета исследования будет рассматриваться водная эрозия почв данного национального парка.

По своим природно-климатическим условиям район Центрального Кавказа относится к эрозионно-опасным районам России. Территория испытывает на себе воздействие как интенсивных ливневых осадков, так и стока талых вод. С учетом осуществления хозяйственной деятельности район находится в зоне риска деградации почв.

Как известно, одной из главных задач ООПТ является сохранение природных комплексов, уникальных и эталонных природных участков и объектов. Сохранение такого компонента биосферы, как почва, является предельно важной задачей, поскольку она является центральным звеном во взаимодействии геологического и биологического круговоротов вещества в биосфере. При полной деградации почв она перестает выполнять свои функции, нарушается баланс обмена энергии между живым и неживым веществом, территория становится малопродуктивной и непригодной для существования биоты.

1. Физико-географическая характеристика

Кавказская физико-географическая страна характеризуется одним из наиболее высоких уровней биологического и ландшафтного разнообразия на Земле, сохранение которого имеет Федеральное и мировое значение.

В 1986 году в Кабардино-Балкарской республике в предгорье самой высокой горы Европы «Эльбрус» был создан национальный парк «Приэльбрусье» с целью сохранения природных комплексов и объектов, имеющих особую экологическую, историческую и эстетическую ценность [1].

Национальный парк расположен в предгорной и высокогорной зоне Центрального Кавказа в пределах Главного Кавказского и Бокового хребтов. На юге Приэльбрусье граничит с Грузией, на западе с Карачаево-Черкесией, а на севере и востоке граничит с Зольским и Эльбрусским районами Кабардино-Балкарии, в пределах которых он и располагается. На рисунке 1.1 представлено его местоположение в физико-географическом отношении:

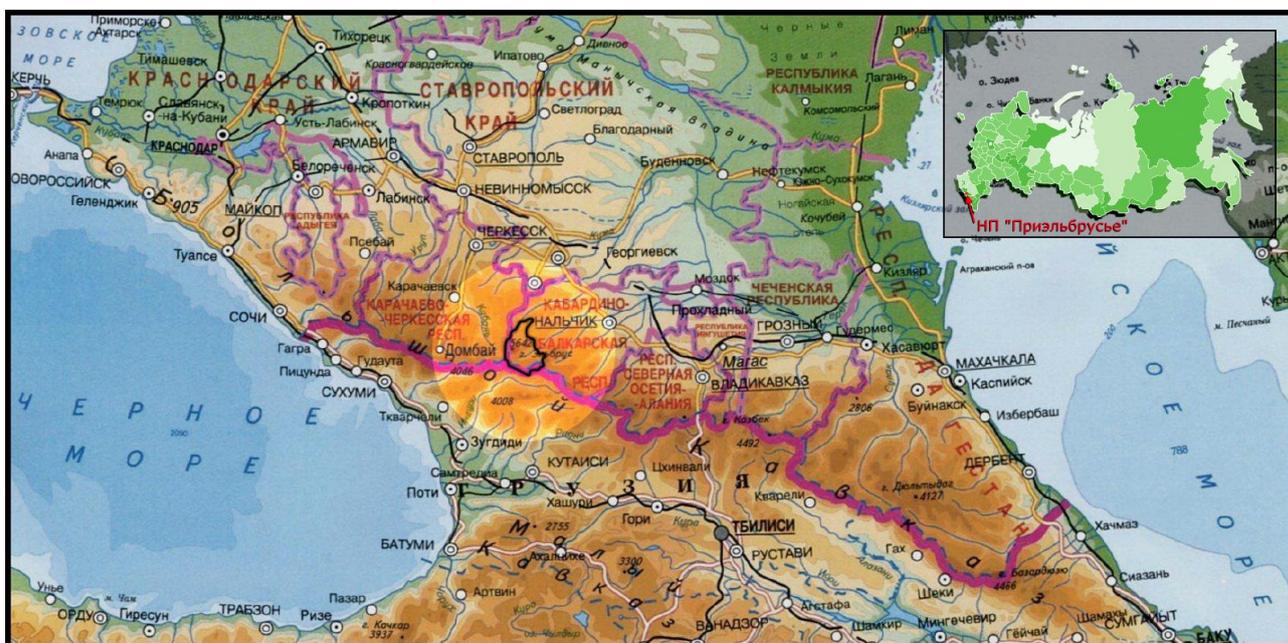


Рисунок 1.1 – Местоположение НП «Приэльбрусье»

Парк располагается в пределах двух водосборных бассейнов, разделенных Эльбрусским хребтом. Границы ООПТ в том числе совпадают с границами сопряженных водосборов.

На территории парка выделено 5 функциональных зон: заповедная, особо охраняемая, хозяйственная, рекреационная.

В заповедной зоне (63,7 тыс. га) запрещены все виды хозяйственной и рекреационной деятельности, кроме научных исследований, экологического мониторинга и природоохранных мероприятий. Включает в себя основные ландшафты нетронутой природной средой.

В особо охраняемой зоне (43,6 тыс. га) допускаются некоторые виды хозяйственной и рекреационной деятельности, не нарушающей естественного облика ландшафтов. Она является некой буферной зоной для заповедной территории и вместе с ней образует основное экологическое ядро ООПТ.

В рекреационной зоне (28,2 тыс. га), расположенной главным образом по берегам реки Баксан, разрешено строительство хозяйственных объектов, обеспечивающих функционирование рекреационных учреждений. Помимо рекреации в ней организовано проведение познавательного туризма. Основные направления: альпинизм, экскурсии, экотуризм и горнолыжный спорт.

Зона хозяйственного назначения (56,1 тыс. га) включает земли, не изъятые из хозяйственного пользования. В основном это сельскохозяйственные угодья и хозяйственно-бытовые объекты для обслуживания рекреационной деятельности.

Также имеются некоторые особые зоны, связанные с приграничным положением и традиционным природопользованием [1].

Функциональное деление национального парка «Приэльбрусье» представлено на рисунке 1.2:

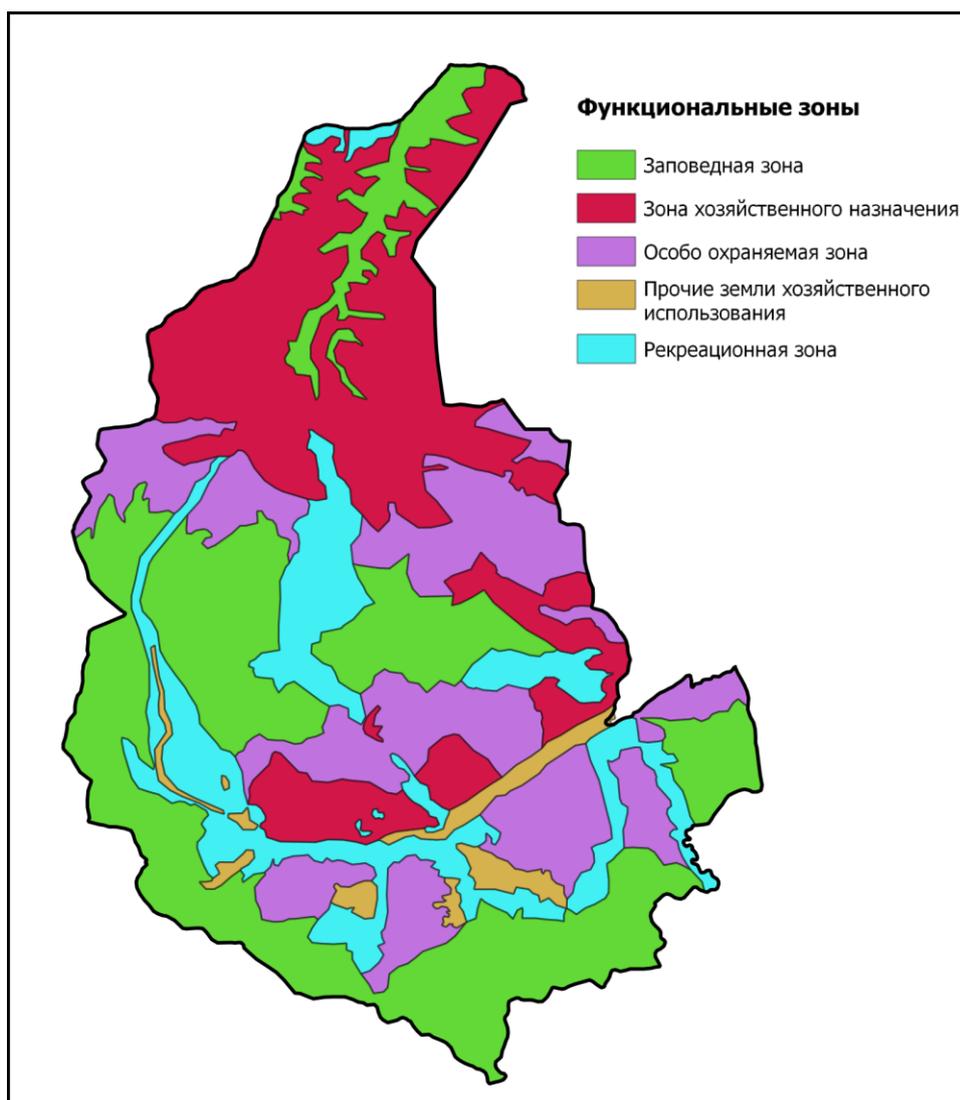


Рисунок 1.2 – Функциональное зонирование НП «Приэльбрусье»

Множество ледников и снежников в сочетании с сильно пересеченным рельефом обуславливают наличие большого количества малых и сверхмалых водотоков — притоков рек Баксан и Малка. Всего в верховьях реки Малка, в пределах Национального парка, насчитывается 113 притоков, из которых наиболее протяженные и полноводные являются Ингушли, Кызылкол, Тогайкол и т. д. В верховьях реки Баксан — около 100 притоков. Самыми крупными из них являются Адылсу, Адырсу, Гарабаши, Донгузорун, Ирик, Терскол и Юсенги.

Водный режим рек в значительной мере зависит от режима таяния снега и ледников в горах и дождей ливневого характера. В высокогорье, где

распространены ледники и вечные снега, реки характеризуются преобладающей долей ледникового питания с летним половодьем и паводками в теплое время года, осенним спадом уровней и зимней меженью [2].

1.1 Климат

Кавказ расположен на границе умеренного и субтропического климатических поясов, причем Центральный Кавказ целиком входит в умеренный пояс и взаимодействует с различными системами циркуляции. Горный барьер в виде Кавказских хребтов делает границу между поясами более резкой, существенно видоизменяя циркуляцию. Этот барьер особенно заметен зимой, когда система большого Кавказа почти полностью задерживает вторжение арктических масс в Закавказье. Поэтому разница между температурами Предкавказья и Закавказья достаточно резкая. Летом температурные различия сглаживаются. Рельеф также сильно обостряет границу между влажными воздушными массами Черного моря – с одной стороны, и влиянием сухого континентального климата Средней Азии – с другой. Национальный парк подвергается влиянию двух этих воздушных масс. Для этой территории характерна ощутимая разница между климатом высоких гор Большого Кавказа и низкогорий и возвышенных равнин Предкавказья. Предкавказье находится под воздействием черноморской депрессии и защищено Ставропольским плато от восточных континентальных воздействий. Циклоны, зарождающиеся на Средиземном море, приносят теплый и влажный воздух. Проходя над Черным морем, усиливаются циклонические возмущения, что приносит в Закавказье обилие интенсивных осадков. Встречаясь с орографическим препятствием воздушные массы замедляются и продвигаются вверх, интенсивно выделяя осадки. Многочисленные формы мезорельефа (ущелья, долины, межгорные котловины) в том числе создают сложную циркуляцию воздуха, значительно усложняя распределение осадков [3].

При этом выделяются общие закономерности, позволяющие описать

распределение осадков на местности. Прежде всего, это возрастание осадков до высоты 3000 м, а выше их уменьшение. Возрастание количества осадков с высотой распространяется во влажных районах до более низкого уровня, чем в засушливых, возрастание с высотой значительнее для твердых, чем для жидких.

Также, отмечается рост осадков не только перед возвышенностями, но и за хребтом с подветренной стороны. Он связан с заносом продуктов конденсации (особенно снега), переносом и отложением их на подветренном склоне в 10 – 20 км за хребтом. По мере переваливания через хребты осадки значительно уменьшаются. Поэтому, глубокие ущелья, обширные плато и горные понижения характеризуются аномально малыми для своей высоты количеством осадков (станции Теберда, Учкулан, Верхний Баксан, Унал). С высотой, распределение осадков в котловинах сильно отличается от линейного, характерного для открытых склонов.

Увеличение осадков с высотой зимой в Восточном Предкавказье выражено слабо, ведущую роль в распределении осадков здесь играет экспозиция склонов. Осадки в западном Предкавказье обусловлены взаимодействием циркуляции со склонами соответствующих экспозиций, вследствие чего на южном склоне Кавказа выпадает наибольшее количество осадков. В среднем, количество осадков за год уменьшается с юга на север и с запада на восток [3].

Климатические условия складываются преимущественно под влиянием свободной атмосферы. В предгорной и горной зонах температура воздуха в июле ниже, чем на равнине, и чем выше в горы, тем становится ниже. В высокогорье лето холодное и суровое. Так, в июле температура воздуха составляет в зоне 1500 м 14,5 °С – 15,5 °С, а на высотах 2500–3000 м 7,5 °С – 8,0 °С, а на Эльбрусе средняя температура июля отрицательная, –1,4 °С. Начиная с высоты 2500 м практически отсутствуют дни с устойчивой активной температурой воздуха выше 10 °С. Зима в высокогорье очень суровая. Средняя температура воздуха в январе на отдельно стоящих вершинах составляет в зоне 2500-3000 с –9 °С, –13 °С, а на Эльбрусе –19 °С. Первые заморозки начинаются октябре. Период с устойчивыми морозами начинается в декабре и продолжается до 273 дней. Весна

– самое короткое время года с продолжительностью около двух месяцев и средней температурой 5 °С [4].

Снежный покров имеет важное климатическое значение на исследуемой территории. Запасы влаги в снежном покрове, характер его залегания и таяния весной определяют величину весеннего стока, режим рек и других водоемов. Зима обычно начинается с достаточно продолжительного предзимья. Большая изрезанность рельефа определяет пестроту распределения снежного покрова. Устойчивый снежный покров формируется в декабре. Снеговая линия в среднем на отметке 3500 м. Высота снежного покрова зависит от распределения осадков под воздействием рельефа [3]. Наибольшая аккумуляция снежного покрова наблюдается на подветренных склонах. Снежный покров начинает сходить в середине марта – апреле.

Таяние снега происходит в два этапа: в дневное время верхние слои снега подтаивают, кристаллы укрупняются и увеличивается расстояние между ними. Этот этап называется фазой аккумуляции и занимает примерно треть периода снеготаяния. На втором этапе вода начинает стекать, в толще снега устанавливается нулевая температура. Таким образом плотность снега возрастает от 0,2 г/см³ до 0,3 – 0,4 г/см³ [5].

1.2 Рельеф

Национальный парк располагается в пределах двух геоморфологических макроструктур: Бокового и Главного Кавказского хребтов. В общих чертах рельеф местности представлен системой хребтов и впадин, вытянутых преимущественно в соответствии с простиранием основных морфоструктур Большого Кавказа: с северо-запада на юго-восток. Абсолютные высоты увеличиваются к юго-востоку с 500-600 м до 5000 и выше (5642,7 - высота Эльбруса, наивысшая точка всего Кавказа). На северо-востоке располагается предгорная равнина, в пределах которой находится группа островных гор, представляющая собой лакколиты. Наиболее высокая из них (1400 м) - г. Бештау

[6].

Севернее и северо-западнее группы лакколлитов, в пределах той же наклонной равнины, располагаются невысокие, округлые, слегка асимметричные гряды, простирающиеся с северо-запада на юго-восток. Их высоты увеличиваются в том же направлении до 900 м.

Далее к юго-западу гряды, простирающиеся продольно, становятся выше – до 1500-1600 м, приобретают более четкую морфологическую выраженность и несколько большую асимметрию.

Гребень Бокового хребта неровный, острый, местами разъеденный льдом и снегом. Эльбрус одет «шапкой» льда и снега, от которой в разные стороны спускаются ледниковые «языки», весьма разнообразные по форме и типу, дно обусловлено как долавым рельефом и его неравномерными подвижками, так и сложным разновозрастным рельефом лав.

Долинная сеть Большого Кавказа в целом, и, в частности, исследуемой территории, отличается характерным сложным рисунком. Крупные реки, стекающие с Главного и Бокового хребтов, все ориентированы на северо-восток, но в верхнем течении большей частью текут в продольных депрессиях Кавказского направления [6].

Большая часть склонов Эльбруса (до высоты 4000 м) пологая, затем крутизна достигает в среднем 35°. Отдельные склоны крутые, обрывистые. В верхней части южный склон Эльбруса сравнительно ровный, но уже с высоты 3800 м и ниже он становится более изрезанным. Для южного склона характерны отвесные скальные участки высотой до 600-700 м, значительное количество ледопадов и трещин на многочисленных ледниках.

Обилие трещин, отвесных скально-ледовых участков, ледопадов и ледниковых обвалов также на северных и западных склонах Эльбруса. Восточные склоны более сглаженные [3].

В слагающих Водораздельный и Боковой хребты кристаллических породах прекрасно выражены формы нивально-гляциальной скульптуры: ледниковые цирки, кары, карообразные мульды. Задние стенки каров противоположных

склонов, сближаясь, образуют острые гребни, вершины имеют форму пиков. Кары и цирки верхнего яруса заполнены фирном и снегом, откуда вниз по троговым долинам спускаются языки ледников. Часто фирновые бассейны сливаются между собой и тянутся сплошной полосой вдоль гребня хребта на много километров. Фирны и снега противоположных склонов нередко смыкаются, перекрывая гребень.

1.3 Геологическое строение

Кавказ как целостная тектоническая единица и структурно, и генетически связан с внутриконтинентальными впадинами Черного моря и Южного Каспия. Эта связь была подтверждена сопоставлением схем мощности земной коры и мощности гранитного склона [3].

Остатки древнейшего вулкана на месте Эльбруса представлены метаморфическими породами кристаллических сланцев и гнейсов нижнепалеозойской макерской серии на относительно слабо расчлененной поверхности древнего эрозионного рельефа, где залегает толща разнообразных вулканических пород общей мощностью 0,8–1,0 км. Вулканические толщи стены цирка Уллукама представляют собой древнейшие образования массива Эльбруса и распространены только в его крайней западной части, слагая вулкан, большая часть которого уничтожена ледниковой экзарацией, а другая, восточная часть скрыта под более молодыми лавами Эльбруса [7].

Наклонная предгорная равнина расположена под палеогеновыми, меловыми и юрскими отложениями который погребен герцинский фундамент Русской платформы, спаянный с палеозойским складчатый фундаментом Большого Кавказа. Фундамент залегает на разной глубине – от 1 до 2,5 км.

Продольные гряды сложены толщей известняков и мергелем мелового возраста, залегающей полого моноклиналино, с наклонов пластов к северу.

В структуре и рельефе Кавказа большую роль играют также и поперечные глубинные разломы, и разрывные нарушения более поверхностного заложения, по

которым наклонный к северу фундамент расколот поперек. Расколы формировались на фоне общего сводового вздымания фундамента к юго-западу, что обусловило блоковое строение фундамента.

1.4 Почвы

Территорию Национального парка «Приэльбрусье» занимают специфические горные почвы, отличающиеся от равнинных аналогов. В соответствии с почвенной картой (рис. А1), в зоне исследования располагается 5 типов почв, которые были взяты для дальнейшего исследования: горно-луговая дерново-торфянистая, горно-луговая дерновая, горно-луговая черноземовидная, горная лугово-степная и горная примитивная.

Горные почвы на Кавказе сравнительно «молодые», характеризуются маломощностью и скелетностью профиля. На возвышенных участках преобладают плотные метаморфические и изверженные почвообразующие породы, а на более дренированных территориях плотные сланцевые породы. Исходя из особенностей почвообразующих пород, можно сделать вывод, что поверхностный и внутрипочвенный сток атмосферной влаги преобладает над просачиванием осадков в толщу грунта.

Горно-луговые почвы имеют небольшую плотность верхних горизонтов, для них характерны большая влагоемкость и высокая водопроницаемость, уменьшающаяся от верхних горизонтов к нижним. Последнее также является основной причиной формирования верховодки. Горно-луговые почвы содержат большое количество гумуса, преимущественно грубого с преобладанием фульвокислот. Гранулометрический состав колеблется в широких пределах – от супесчаных до тяжелосуглинистых [8].

В условиях сильно пересеченного рельефа на склонах разной экспозиции и крутизны резко проявляется смена почвенных разностей. На крутых склонах процессы смыва и размыва преобладают над процессами аккумуляции. На таких участках формируются смытые и неполноразвитые почвы.

Горно-луговые дерново-торфянистые почвы являются преобладающим типом почв для территории Центрального Кавказа и Приэльбрусья. Он распространен на высотах 2300–2700 м под альпийскими разнотравно-осоково-злаковыми лугами. Для них характерен дерново-торфянистый горизонт мощностью 10–15 см темно-коричневого цвета с непрочной зернистой структурой и обилием корней. Торфянистым данный тип характеризуется по наличию слоя мелких слаборазложившихся растительных остатков, рассеянных в массе верхнего горизонта. Заторможенность трансформации опада является прямым следствием климатических условий высокогорья – краткости вегетационного периода с низкими ночными температурами и высокой влажностью.

Горные лугово-степные почвы, вторые по распространенности в национальном парке, развиваются под альпийскими и субальпийскими остепненными лугами и луговыми степями Центрального Кавказа. Горные лугово-степные почвы формируются в зонах пониженного увлажнения на слабонасыщенных силлитных продуктах выветривания плотных осадочных и массивно-кристаллических пород.

Профиль горной лугово-степной почвы состоит из дернины A_d мощностью около 10 см серовато-коричневого цвета, порошистой структуры. Верхний горизонт A мощностью 10 – 15 см — черный, с зернистой структурой, многочисленными следами почвенной фауны, легкосуглинистого состава. Он сменяется более светлым переходным слабо оструктуренным горизонтом, постепенно переходящим в почвообразующую породу. Весь профиль отличает наличие щебня, часто карбонатного.

Содержание гумуса в гумусово-аккумулятивном горизонте составляет около 10%, а состав гумуса — гуматный и фульватно-гуматный, что определяет высокую насыщенность основаниями [9].

Горно-луговые черноземовидные почвы, третьи по распространенности в ООПТ, формируются в зонах умеренного увлажнения на элюво-делювии известняков и других карбонатных пород. В профиле выделяются интенсивно

черный зернистый дерновый горизонт, отчетливо сменяющийся сероватым переходным и белесо-палевой или бурой почвообразующей породой. Верхний горизонт слабо щебневат, внизу щебневатость быстро нарастает. Содержание гумуса в верхнем горизонте достаточно большое и достигает 11 %.

Горно-луговые дерновые почвы близки к горно-луговым дерново-торфянистым, отличаются наличием мощной дернины (более 10 см), густо пронизанной корнями луговых растений. Формируются на Кавказе под субальпийскими горными лугами на бескарбонатных породах. Залегающий под ними гумусово-аккумулятивный горизонт характеризуется водопрочной зернистой структурой, средне- и тяжелосуглинистым гранулометрическим составом, наличием большого количества слаборазложившихся органических остатков.

В наиболее высокогорных участках национального парка с экстремальными условиями почвообразования встречаются *горные примитивные почвы*. Данный тип не образует сплошного почвенного покрова, а чередуется с выходами скальных пород и каменными россыпями либо встречается среди других типов более развитых почв различных вертикальных зон, занимая наиболее крутые подверженные эрозии склоны.

Горные примитивные почвы, как правило, имеют профиль мощностью 10–20 см, или меньше. Под тонкой прерывистой слабоотторфованной подстилкой (2–5 см), образованной отмершими мхами или очесом травянистых растений, залегает маломощный прокрашенный гумусом темно-коричневый мелкоземисто-щебнистый горизонт АС мощностью 6–10 см, постепенно переходящий в сильнокаменистый обогащенный щебнем элювий и элюво-делювий плотных пород: метаморфических или вулканических. Формирование профиля фрагментарных горных почв происходит в условиях протекания противоположно направленных процессов смыва и аккумуляции мелкоземного материала. Степень фрагментарности почв в значительной мере обусловлена крутизной склона.

Свойства горных примитивных почв определяются свойствами

материнской породы. Для почв данной группы общими являются следующие особенности: невысокая водоудерживающая способность, небольшие возможности выполнения ими опорных функций для растений, высокая щелочность, высокая гумусированность мелкозема (содержание гумуса — до 8–10%), значительное количество слаборазложившихся корней [9].

На основании данных Единого государственного реестра почвенных ресурсов России составлена сводная таблица (1.1) гранулометрического состава почвы на прокаленную навеску:

Таблица 1.1 – Гранулометрический состав почвы, содержание фракций, %

Тип почвы	Размер частиц, мм		
	<0.001	0.001 – 0.05	0.05 – 0.1
Горно-луговая дерново-торфянистая	26,4	47,8	12,6
Горная лугово-степная	22,7	51,5	3,2
Горно-луговая дерновая	16,9	58,1	11,8
Горно-луговая черноземовидная	30	39	10
Горная примитивная	18	40	13

Зимой средняя месячная температура поверхности почвы мало отличается от температуры воздуха, и она изменяется от $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$. Поверхность почвы в летнее время обычно выше температуры воздуха. Средняя температура черного пара выше температуры воздуха на $4 - 6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Наличие растительного покрова уменьшает колебание температуры почвы на различных глубинах [4].

1.5 Растительность

Распределение типов растительного покрова территории обусловлено климатом и рельефом. Безлесье пологих северных склонов Бокового хребта в значительной степени связано с микроклиматом подветренных склонов. На тех же высотах на более высоком Главном Кавказском хребте располагается лесная

зона. В соответствии с климатическими различиями на разных высотах почвенно-растительный покров характеризуется высотной поясностью и различиями по экспозиции склонов. Данные факторы привели к сочетанию уникальных типов растительности на весьма небольшой территории. В пределы провинции частично входят склоны и долины с хвойными, смешанными и даже широколиственными (буковыми) лесами, приуроченными к долинам рек. Лесной покров характеризуется слабой сомкнутостью высокой мозаичностью, обусловленной бонитетом и сложностью насаждений, а также их возрастным составом. Верхняя граница лесной растительности расположена приблизительно на высоте около 2000—2200 м, несколько снижаясь к западу и повышаясь к востоку. Местами она снижается вследствие вырубки деревьев в самом верхнем лесном поясе и сходу снежных лавин. Пояс сосновых лесов занимает верхний ярус горно-лесной зоны. Сосновые леса распространены главным образом фрагментарно на склонах обрывов на маломощных щебнистых почвах. Произрастая на крутых и скалистых склонах, сосняки выполняют почвозащитную и водоохранную функцию. Среди лесов в долинах Центрального Кавказа встречаются поляны с высоким (до 1,5 м) и густым травяным покровом. По ним разбросаны единичные деревья мелколиственных пород. Эти поляны образовались вследствие вырубки и выкорчевки здесь леса, после чего произошло быстрое олуговение растительности и почв [10].

Выше зоны лесов располагается пояс субальпийской и альпийской луговой растительности.

Субальпийские луга отличаются пышным и густым травостоем, местами, достигающим значительной высоты. Из травянистых растений встречаются герань, крупные колокольчики и др.

Альпийский пояс отличается от субальпийского характером почв и густотой растительности. В растительном покрове альпийского пояса можно выделить альпийские луга, альпийские ковры, растительность скал и осыпей. Растения альпийского пояса в сравнении с субальпийскими значительно меньше. Альпийские луга — это луговые сообщества из злаков и осок, образующие

плотные дернины. Под зарослями кавказского рододендрона развивается сильно торфянистая почва.

На мелкоземистых почвах ковровая растительность образует плотно-сомкнутый покров, на щебенистых же — травостой менее плотный, он представляет собой как бы переход к нивально-гляциальному поясу скально-осыпной растительности.

Разнообразна растительность высокогорных скал и осыпей, где большую роль играют различные виды мхов, лишайников и корневищных растений. Из них следует выделить виды каменоломок, приспособленные к экстремальным условиям и почвам [10].

1.6 Ландшафты

Для Приэльбрусья характерно исключительно большое разнообразие ландшафтов, что объясняется сложностью орографии, климатическими контрастами и геологической историей местности. В основном это высокогорные и предгорные ландшафты, распределение которых обусловлено закономерностями высотной поясности.

Приледниковые ландшафты формируются под воздействием ледников или процессов, связанных с оледенением. Для них типичен ледниковый мезорельеф, часто активные экзогенные процессы, особенно мерзлотные и нивальные, приледниковый мезоклимат, растительность, сформированная на маломощных щебнистых неглубоко гумуссированных почвах, а нередко ее отсутствие. Приледниковый ландшафт находится под преобладающим воздействием потоков вещества и энергии ледникового происхождения. Он состоит из микроландшафтов и элементарных ландшафтов, преимущественно лугового и лесного зональных типов. В засушливых областях встречаются горно-степные ландшафты. Границы современных приледниковых ландшафтов определяются в основном по рельефу – ледниковым формам начала периода активной деградации оледенения на Центральном Кавказе [10].

2. Материалы исследования

В ходе работы по расчету параметров водной эрозии были использованы следующие материалы:

- цифровая модель рельефа SRTM 1 Arc-second Global Национального парка «Приэльбрусье» разрешением 30x30 метров на пиксель;
- топографическая карта Кабардино-Балкарской АССР масштаба 1:100000;
- почвенная карта Кабардино-Балкарской республики из Национального атласа почв Российской Федерации масштаба 1:2500000;
- данные по атмосферным осадкам Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за 1990-2020 гг.;
- табличная и справочная информация из Климатического справочника СССР;
- картографические данные о высоте снежного покрова Агроэкологического атласа России и сопредельных стран;
- космические снимки территории системы дистанционного зондирования земли Landsat-8 за 2 августа 2017 г.;
- данные о почвенных характеристиках из Единого Государственного реестра почвенных ресурсов России;
- Карта-схема функционального зонирования территории национального парка "Приэльбрусье" с официального сайта ООПТ.

Работа осуществлялась в программе QGIS 3.11.16 и SAGA GIS 2.3.2. Все данные получены из открытых официальных источников.

2.1 Цифровая модель рельефа

В качестве цифровой модели рельефа было решено использовать SRTM 1 Arc-second Global (NASA Shuttle Radar Topography Mission) в виде 16-битных

растровых файлов, значения пикселей в которых численно равно высоте модели местности над поверхностью геоида EGM96 в метрах. Несмотря на то, что существуют и альтернативные наборы данных, SRTM наиболее распространен и приемлим по точности.

Модель SRTM создана по данным радарной интерферометрической съемки земной поверхности радиолокационным комплексом на базе SIR-C/X-SAR, установленным на борту КА Shuttle Endeavour в двух диапазонах длин волн C (5,6 см) и X (3,1 см). В ходе этих работ было отснято около 12 терабайт радиолокационных данных, после обработки которых была получена матрица высот, захватывающую территорию суши от 60 °с.ш. до 54 °ю.ш. и некоторые участки моря. Радар спутника измеряет высоту отражающей, а не топографической поверхности: в залесенных районах – высоту деревьев, на заснеженной территории – высоту снежного покрова и т.д. Этот существенный недостаток радиолокационной съемки территории может вносить ощутимые погрешности в значения высот, следовательно, расчетные данные по такой ЦМР могут оказаться недостоверными [11].

В 2014 году цифровая модель рельефа SRTM была улучшена до 31 м с ранее доступных 90 м в открытом доступе. Модель именно в таком разрешении и была использована в качестве исследования. Эта, последняя версия, представляет собой значительное улучшение данных по сравнению с предыдущими версиями, благодаря использованию новых интерполяционных алгоритмов, а в роли вспомогательных источников использовались локальные и национальные ЦМР более высокого разрешения [12].

Материалы были загружены с сайта USGS: Earth Explorer (United States Geological Survey) в виде 6 фрагментов: n42_e041_1arc_v3; n42_e042_1arc_v3; n42_e043_1arc_v3; n43_e041_1arc_v3; n43_e042_1arc_v3; n43_e043_1arc_v3. В качестве предварительной обработки полученные части были объединены и обрезаны в QGIS. Перед проведением расчетов, было также проведено сглаживание модели и заполнение отверстий в программе SAGA GIS.

2.2 Данные дистанционного зондирования земли

В данной работе возникла задача количественной оценки растительного покрова по картографическим данным, поэтому были использованы данные системы дистанционного зондирования земли Landsat 8 за август 2017 года.

Landsat 8 (ранее Landsat Data Continuity Mission, или LDCM) был запущен на ракете Atlas-V с базы ВВС Ванденберг, Калифорния, 11 февраля 2013 года. ТИРС) Спутник производит измерения в видимом, ближнем инфракрасном и коротковолновом инфракрасном диапазонах (VNIR, NIR и SWIR) спектра. TIRS измеряет температуру поверхности земли в двух тепловых диапазонах с помощью новой технологии, которая применяет квантовую физику для обнаружения тепла. Изображения Landsat 8 имеют 15-метровое панхроматическое и 30-метровое мультиспектральное пространственное разрешение на полосе шириной 185 км (115 миль).

Большинство данных обрабатывается на максимально возможном уровне, однако могут быть некоторые различия в пространственном разрешении ранних изображений TIRS из-за изменений температуры телескопа, но погрешность находится в пределах 1 процента [13].

Благодаря своей доступности и высокой точности данные Landsat 8 применяются исследователями различного профиля в решении широкого спектра задач, связанных с науками о земле.

3. Методика работы

По своей природе водная эрозия почв является функцией краткосрочного воздействия факторов климата, почвы, рельефа, растительности и землепользования. Поэтому при оценке процессов водной эрозии используют эмпирические, физически обоснованные и концептуальные модели. Эффективность подобных моделей зависит от обеспеченности исходной информацией. На данный момент эмпирические уравнения смыва лучше обеспечены коэффициентами, чем теоретические. Кроме того, расчет смыва по эмпирическим моделям хорошо согласуется с результатами расчета смыва, проводимого с использованием теоретических уравнений [14].

Широко известной является эмпирическая модель USLE (Universal Soil Loss Equation) (Wischmeier, Smith, 1978), которая в дальнейшем была усовершенствована в плане расчета коэффициентов и получила название RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) (Renard et al., 1997). Данные модели применяются для прогнозирования и оценки долгосрочных средних значений потери почвы в результате ручейковой и межручейковой эрозии при заданных условиях. Следует отметить, что данная модель может применяться только при долгосрочной оценке смыва почвы, а также она не учитывает овражный тип эрозии.

Уравнение представляет собой произведение коэффициентов (факторов) учитывающих влияние осадков, противозэрозийной стойкости почвы, особенностей рельефа, растительности и севооборота, а также почвозащитных мероприятий и землепользования:

$$A_{л} = R_{л}KLSCP, \quad (3.1)$$

где $A_{л}$ – среднегодовой модуль смыва почвы от ливневых осадков (т/га);

$R_{л}$ – коэффициент эрозионной активности дождя (МДж·мм/га·ч);

K – коэффициент эрозионной активности почвы (т·га·ч/га·МДж·мм);
 LS – эрозионный потенциал рельефа;
 C – фактор растительности и севооборота;
 P – фактор эффективности противоэрозионных мероприятий.

Смыв от стока талых вод рассчитывается по аналогичной эмпирической зависимости, где вместо эрозионного индекса осадков используется эрозионный потенциал талых вод [15]:

$$A_T = R_T K L S C P , \quad (3.2)$$

где A_T – среднегодовой модуль смыва почвы от стока талых вод (т/га);
 R_T – коэффициент эрозионной активности талых вод (мм/ч).

Потенциальный годовой смыв определяется суммированием годового смыва от ливневых осадков и талых вод:

$$A_G = A_L + A_T , \quad (3.3)$$

где A_G – среднегодовой модуль смыва почвы (т/га).

На данный момент эта эмпирическая технология активно применяется во всем мире при расчете среднегодовых потерь почвы от водной эрозии благодаря своей простоте и возможности получать результат при минимуме исходных данных.

Принципиальная схема оценки эрозионной опасности земель заключается в следующем. На первом этапе составляются факторные растровые карты по всем коэффициентам, входящим в уравнение эрозии почв. Затем факторные карты накладываются друг на друга, территория делится на элементарные участки, в пределах которых отражаются средние потери почвы [14].

Работа осуществлялась с помощью методов ГИС-технологий, на рисунке

3.1 приведена структурная схема последовательности расчетов:

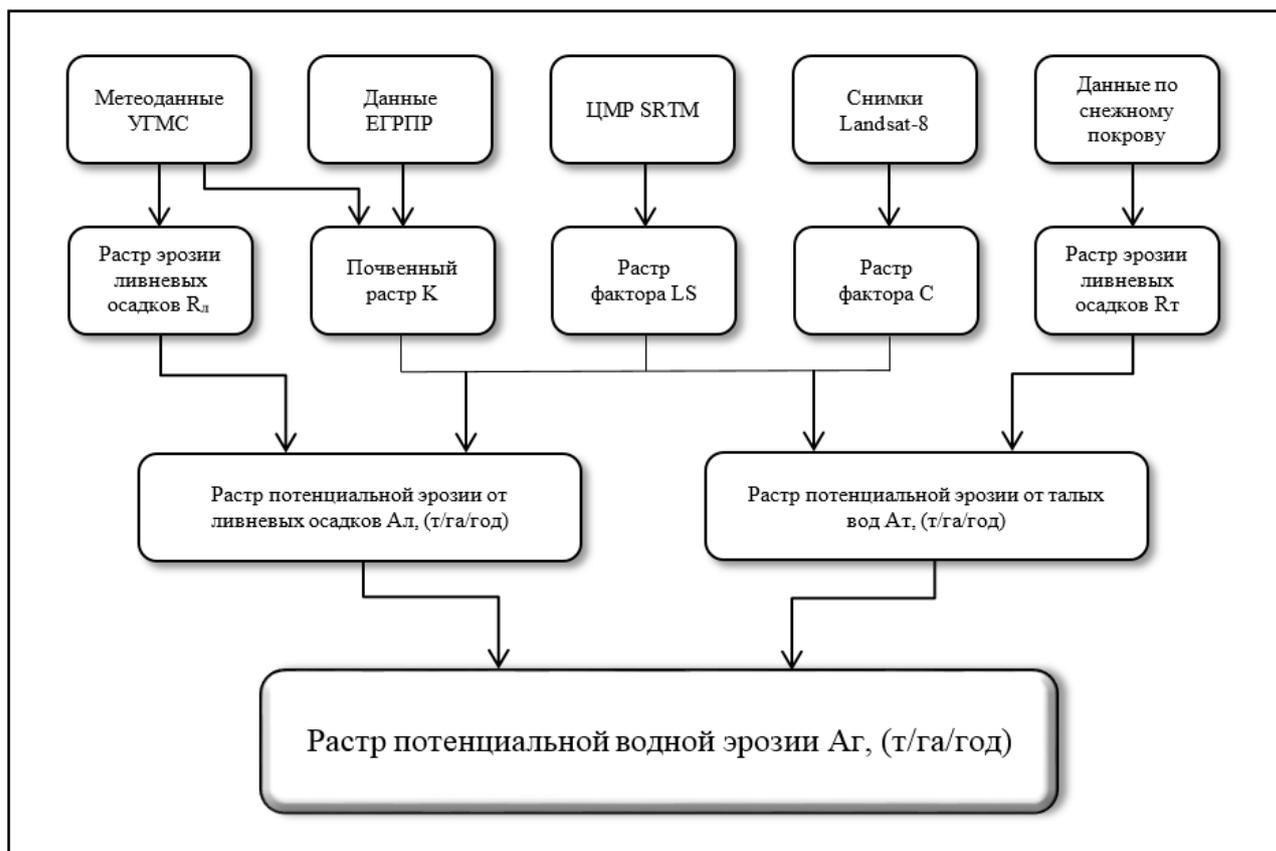


Рисунок 3.1 – Структурная схема процесса получения растра потенциальной водной эрозии

Фактор эрозии осадков ($R_{л}$) – это числовая характеристика, которая отражает способность ливней вызывать эрозию в почве.

Воздействие интенсивных дождевых осадков на поверхность Земли является ключевым фактором, запускающим процесс смыва почвы. Дождь может вытеснять частицы почвы либо в результате физического воздействия капель воды, либо в результате стекания воды по поверхности, которая при определенных условиях может превратиться в небольшие неглубокие каналы, известные как ручьи, или, в конечном итоге, в овраги, глубина которых может достигать нескольких метров.

Количество смываемой почвы зависит не только от параметров водного

потока, но и от параметров дождевых капель. Чем больше масса и скорость капель, тем больше ее кинетическая энергия и тем большие разрушения она причиняет почве. При разрушении капли воды о поверхность почвы происходит в том числе разрушении некоторого объема почвы [5].

Способность дождя вызывать эрозию почвы известна как эрозионная активность, которая является функцией кинетической энергии дождевых капель и интенсивности ливня. Эрозионный потенциал дождевых осадков в оригинальном варианте USLE рассчитывается как сумма произведений кинетической энергии ливня на их максимальную 30-минутную интенсивность:

$$R_{л} = \sum_{i=1}^i EI_{30} , \quad (3.4)$$

где E – кинетическая энергия дождя, (Дж/м²);

I_{30} — Максимальная интенсивность ливня за 30 минут, (мм/ч).

В связи с тем, что получение необходимого количества данных по кинетической энергии дождя вызывает затруднение, для определения R принят расчет на основе среднего количества осадков в год:

$$R_{л} = 0,548257 \cdot P - 59,9 , \quad (3.5)$$

где P – среднегодовая сумма осадков, (мм/год).

Исследователями установлено, что расчет эрозионного индекса дождя по уравнению (3.5) тесно коррелирует с изначальной методикой (3.4). Коэффициент корреляции в данном случае находится в пределах: $r = 0,8 - 0,9$. Вдобавок, чем больше объем выборки при расчете средних годовых сумм осадков, тем выше точность [14].

Эрозия, вызываемая талыми водами, отличается большей продолжительностью, но меньшей выраженностью, чем ливневая. Например, в

средней полосе длительность снеготаяния в среднем составляет месяц, а продолжительность смывания почвы - около одной недели. Потери почвы от эрозии при снеготаянии составляют чаще всего несколько тонн с гектара [19]. Расчет эродируемости талых вод является более трудоемким процессом, поскольку он зависит от большего числа факторов, изменяющихся во времени. В большей части работ по USLE талые воды вовсе не учитываются, поскольку из-за климата или рельефа, их роль в смыве почвы на конкретной территории пренебрежительно мала.

На исследуемой территории климатические и геоморфологические факторы создают предпосылки для формирования значительного стока талых вод, поэтому они были включены в расчеты годовой потери почвы. Интенсивность эрозии при снеготаянии определяется его продолжительностью и запасами воды в снеге. Особенно ярко выражено активное снеготаяние на склонах южной экспозиции. Увеличению эрозии способствует глубокое промерзание почвы вследствие сокращения инфильтрации в период снеготаяния [15].

$$R_T = H \cdot m , \quad (3.6)$$

где R_T – эрозионный потенциал талых вод (мм/ч);

H – запас воды в снегу к началу снеготаяния, $H = 10h\rho$ (мм);

h – высота снежного покрова (см);

ρ – средняя плотность снежного покрова (г/см³);

m – интенсивность снеготаяния (мм/ч);

Расчетная формула для определения интенсивности снеготаяния, выраженной в слое воды m , мм, за промежуток времени между двумя снегомерными съемками на исследуемом участке имеет вид:

$$m = \frac{H_n - H_k + X - F}{t}, \quad (3.7)$$

где H_n и H_k – начальные и конечные запасы воды в твердой фазе в снежном покрове и в ледяной корке на поверхности земли, соответственно, мм;

X – количество выпавших твердых осадков за расчетный период, мм;

F – потери снега на испарение за расчетный период, мм;

t – продолжительность расчетного периода, ч.

Слой осадков за период снеготаяния определяется как среднее количество осадков за время от средней даты максимального запаса воды в снеге до средней даты схода снежного покрова. В целом территориальное распределение запасов воды в снеге очень сложно и во многом определяется рельефом [16].

Испаряемость снега в горной местности больше, чем на равнинах. Особенно в весенний период интенсивность испарения возрастает за счет возрастания солнечной радиации.

Фактор эродлируемости почвы. Эродлируемость является показателем сопротивляемости почвенных агрегатов к отделению и транспортировке. Это неотъемлемая характеристика почв, которая является функцией комбинированного действия ее физических, химических и биологических свойств. Она непосредственно определяется двумя показателями почвы: размерами водопрочных агрегатов и сцеплением их друг с другом. Остальные характеристики косвенно влияют на противоэрозионную стойкость, через основные.

Плотность почвы и плотность твердой фазы почвы непосредственно связаны с весом агрегатов, поэтому имеется связь этих показателей с противоэрозионной стойкостью. В работах многих исследователей высокая противоэрозионная стойкость ассоциируется с высокой структурностью [5].

Данный параметр в USLE определяется путем измерения потери почвы на стандартном участке стока. Стандартный участок обладает следующими

характеристиками:

- Единый участок с уклоном $5,16^\circ$ и длиной 22,13 м, находящийся под паром с периодической обработкой почвы вверх и вниз по склону;
- Эрозия является функцией почвы и климата, без учета других факторов ($LS = C = P = 1$).

Главным препятствием при моделировании эрозии почвы является ограниченность данных о характеристиках почвы на исследуемой территории. Это связано с тем, что получение достоверных сведений об эродированности почвы связано с проведением полевых и лабораторных исследований.

Алгебраическая аппроксимация номограммы, включающая пять параметров почвы (текстура, органическое вещество, крупные фрагменты, структура и проницаемость), в оригинальном варианте RUSLE представлена в уравнении:

$$K = \left[\frac{2,1 \cdot 10^{-4} M^{1,14} (12-C) + 3,25 (s-2) + 2,5(p-3)}{100} \right] \cdot 0,1317, \quad (3.8)$$

где M – текстурный фактор, причем $M = (m_{\text{silt}} + m_{\text{vfs}}) \cdot (100 - m_c)$;

m_c [%] – илистая фракция (<0.002 мм);

m_{silt} [%] – глинистая фракция (0.002 – 0.05 мм);

m_{vfs} [%] – фракция мелкого песка (0.05 – 0.1 мм);

C [%] – содержание органического вещества;

s – класс структуры почвы ($s=1$: очень мелкозернистый, $s=2$: мелкозернистый, $s=3$, средне- или крупнозернистый, $s=4$: глыбистый, плитчатый или массивный);

p – класс проходимости ($p=1$: очень быстро, ..., $p=6$: очень медленно).

Почвы с высоким содержанием глины имеют низкие значения K , примерно от 0,05 до 0,15, потому что они наиболее устойчивы к отслаиванию. Почвы с грубой структурой, такие как песчаные почвы, имеют низкие значения K ,

примерно от 0,05 до 0,2, из-за низкого поверхностного стока, хотя эти почвы легко отделяются. Почвы со средним гранулометрическим составом, такие как илисто-суглинистые почвы, имеют умеренные значения К, примерно от 0,25 до 0,4. Почвы с высоким содержанием ила наиболее подвержены эрозии из всех типов почв. Они легко отделяются, склонны к образованию корки и дают высокие скорости поверхностного стока.

Органические вещества уменьшают эрозию, потому что они уменьшают восприимчивость почвы к отслоению и увеличивают инфильтрацию, что уменьшает поверхностный сток и, следовательно, эрозию. Структура почвы влияет как на восприимчивость к отрыву, так и на инфильтрацию. Проницаемость профиля почвы влияет на К, потому что она влияет на сток [17].

Топографический LS-фактор является эрозионным потенциалом рельефа. Длина и углы наклона склонов существенно влияют на скорость развития эрозии почв. При моделировании эрозии на локальном уровне являются одними из главных показателей, определяющих потенциал развития эрозионных процессов на конкретных участках.

L-фактор и S-фактор обычно рассматриваются вместе. Коэффициент длины склона L вычисляет влияние длины склона на эрозию, а коэффициент крутизны склона S вычисляет влияние крутизны склона на эрозию. Значения LS равны 1 для условий единичного участка длиной 72,6 фута и крутизной 9%. Значения LS являются относительными и показывают, насколько подвержена эрозии конкретная длина и крутизна склона по отношению к единичному участку. Таким образом, некоторые значения LS меньше 1, а некоторые значения больше 1. Показатель определяется по формуле:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22,13}\right)^m * (65,41\sin^2\theta + 4,56\sin\theta + 0,065), \quad (3.9)$$

где λ – длина склона; θ – угол склона; m – равен 0,5; если угол склона равен 5 или больше; 0,4 – если угол склона 3,5 – 4,5; 0,3 – если угол склона 1 – 3; 0,2 –

если угол склона меньше 1 % [18]

Крутизна склона имеет важное значение для формирования стока и эрозии почвы, поскольку связана с влиянием уклона на скорость потока, эродирующего почву [19].

Показатель биомассы и проективного покрытия растительного покрова (С-фактор) представляет влияние растений, почвенного покрова, почвенной биомассы и деятельности, нарушающей почву, на эрозию. RUSLE использует метод субфакторов для расчета коэффициентов потери почвы, которые представляют собой отношения в любой момент времени в последовательности управления покровом к потерям почвы с единичного участка. Значение коэффициента С представляет собой средний коэффициент потери почвы, взвешенный в соответствии с распределением подфакторов в течение года. Подфакторами, используемыми для расчета значений коэффициента потерь почвы, являются растительный покров, поверхностный покров, шероховатость поверхности, предшествующее землепользование и предшествующая влажность почвы. Общий процент покрытой поверхности — это характеристика, используемая в RUSLE для расчета влияния поверхностного покрытия на эрозию. В данной работе в качестве фактора С будет использоваться общий процент проективного покрытия растительного покрова.

Если коэффициент С, равный 0,15, соответствует определенному проективному покрытию растениями, это означает, что эрозия сократится до 15% по сравнению с той величиной, которая имела бы место в условиях сплошного пара [19].

Густой растительный покров в лесной зоне сводит потери почвы от водной эрозии практически до нуля. Густая травянистая растительность также способна закреплять почву своими корнями даже на крутых склонах. Одним из наиболее доступных методов оценки растительного покрова, является индекс NDVI, определяемый с помощью методов дистанционного зондирования земли.

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – это нормализованный относительный индекс растительности. Также называется вегетационным

индексом, поскольку отражает количество фотосинтетически активной биомассы. Является одним из самых распространенных и используемых индексов для решения задач, использующих количественные оценки растительного покрова. NDVI рассчитывается на основе снимков любого разрешения, имеющих спектральные каналы в красном (0,55 – 0,75 мкм) и инфракрасном диапазоне (0,75 – 1,0 мкм) по следующей формуле:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}, \quad (3.10)$$

Где NDVI – нормализованный относительный индекс растительности;

NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра;

RED – отражение в красной области спектра.

Для оценки плотности растительного покрова согласно Roose (1975) используется следующее преобразование [20]:

$$C = e^{-\alpha \frac{NDVI}{\beta - NDVI}}, \quad (3.11)$$

где, $\alpha = 2$ и $\beta = 1$.

Коэффициент C принимает значение от 0 до 1 ($C = 0$: густая растительность, высокое покрытие; $C=1$ не имеет класса растительный покров, то есть растительный покров полностью отсутствует).

P-фактор отражает влияние методов землепользования на среднегодовую скорость эрозии. Поскольку этот фактор является сугубо сельскохозяйственным, в данной работе он не будет учитываться: $P = 1$.

4. Результаты исследования

Для оценки осадков использованы средние месячные суммы осадков на 30 метеостанциях в пределах ООПТ и на соседних территориях. Из них для 5 станций (Зеленчукская, Кисловодск, Шаджатмаз, Клухорский перевал и Владикавказ) информация была получена из базы данных Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за период 1990 – 2020 г.г. Для остальных пунктов данные получены из климатических справочников СССР для соответствующих регионов. Проанализированные и осредненные данные представлены в таблице Б.1.

Исследуемые пункты были нанесены на карту, привязанные к ним значения осадков интерполированы методом обратно-взвешенных расстояний для получения раstra эрозии осадков (рис. Б.1). Данный способ построения раstra по известным значениям коэффициента на метеостанциях является наиболее простым. Поскольку на территории ООПТ достаточно высокая плотность покрытия метеостанциями, и они особенным образом распределены в разных частях рельефа, то линейная интерполяция метеоданных позволяет получить правдоподобную картину распределения осадков. Для корректировки раstra осадков следует учесть неотъемлемые особенности распределения осадков в условиях высотной поясности. В соответствии с гидротермическими характеристиками высотных поясов северного склона Большого Кавказа, в альпийском, субнивальном и нивальном поясах начиная с высоты 3000 м в среднем уменьшаются на 20 мм на каждые 100 метров высоты. На основании ЦМР с помощью калькулятора растров были проведены необходимые расчеты и представлены на рисунке 4.1:

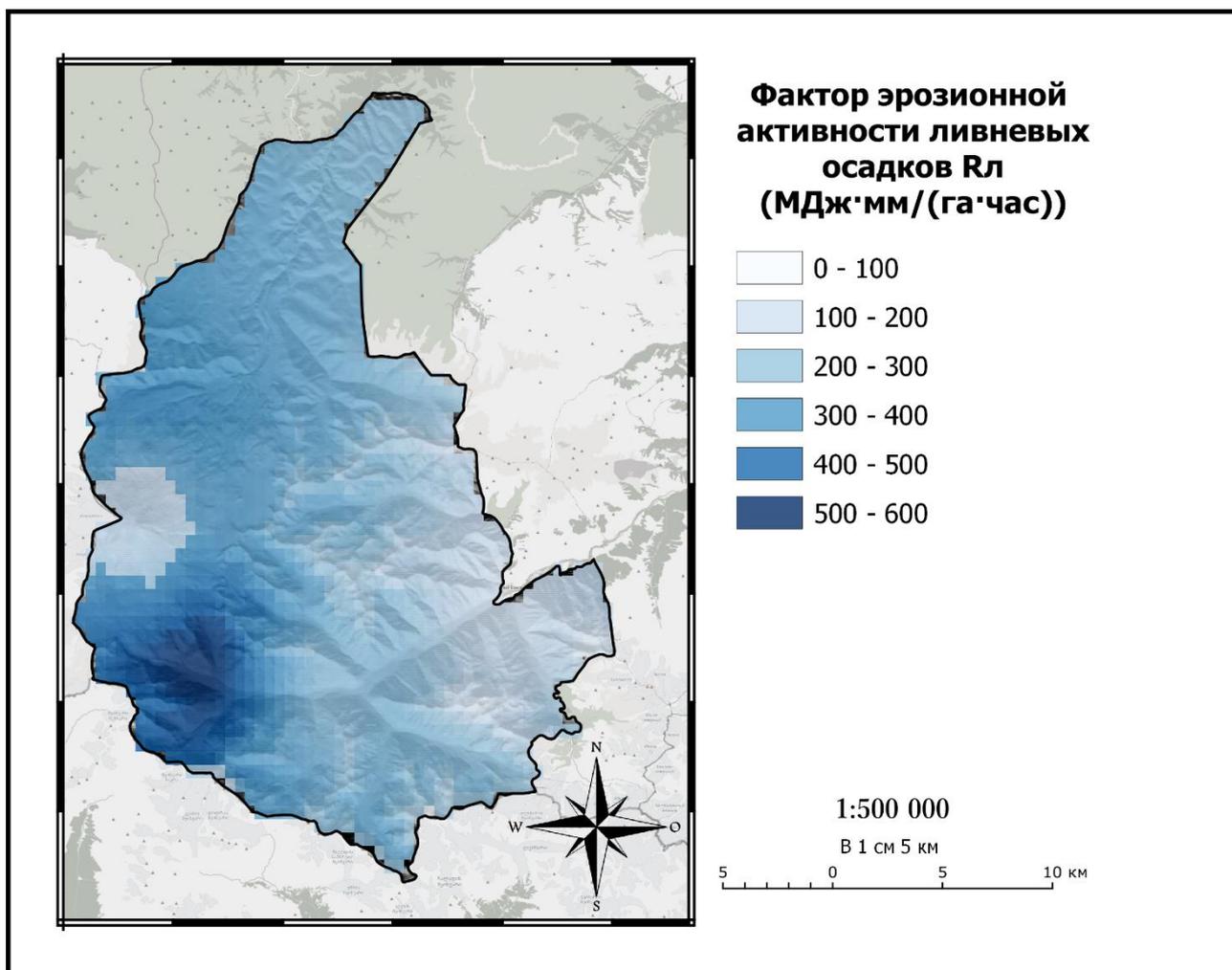


Рисунок 4.1 – Растр эрозии осадков

Как видно из рисунка 4.1, наибольшие значения параметра до 600 МДж·мм/га·час наблюдаются на южном склоне Эльбруса в районе Терскола. В связи с особенностями экспозиций склонов и фактора крупного орографического препятствия, данное место действительно является самым влажным в районе исследования. На север и на восток от Эльбруса влияние осадков снижается в несколько раз.

Вычисление потенциального смыва за снеготаяние начиналось с определения слоя талого стока. Для определения максимального уровня снежного покрова к началу снеготаяния использованы картографические данные агроэкологического атласа России. Особенностью карты является их высокая точность и учет большого количества факторов, влияющих на распределение и

толщину снежного покрова. Сперва был определен запас воды в снегу к началу снеготаяния.

Для определения интенсивности снеготаяния для анализа были взяты 2 карты снежного покрова из агроэкологического атласа России: к началу снеготаяния (максимальная высота покрова) и на момент активного снеготаяния (апрель). Особенность снеготаяния заключается в том, что наибольшую эрозионную активность талые воды имеют в первую декаду и первый месяц снеготаяния в зависимости от продолжительности и климатических условий. В последние декады снеготаяния эродируемость талых вод сильно снижается. Поэтому, для климатических условий Приэльбрусья слой растаявшего снега за данный промежуток времени как раз будет характеризоваться наибольшей эродирующей способностью. Слой осадков за исследуемый промежуток времени был рассчитан на основании таблицы Б.1, для исключения жидких осадков из рассчитанных сумм, они были умножены на понижающий коэффициент 0,75. Испаряемость воды из снежного покрова была принята 0,3 мм/сут, что является осредненной величиной для данной местности с учетом повышенного притока солнечной радиации. Во всяком случае, потери на испаряемость являются незначительными.

На рисунке В.1 представлены необходимые промежуточные растры для расчета интенсивности снеготаяния по формуле (3.7). Затем был рассчитан конечный растр эродируемости талых вод по формуле (3.6) и представлен на рисунке 4.2:

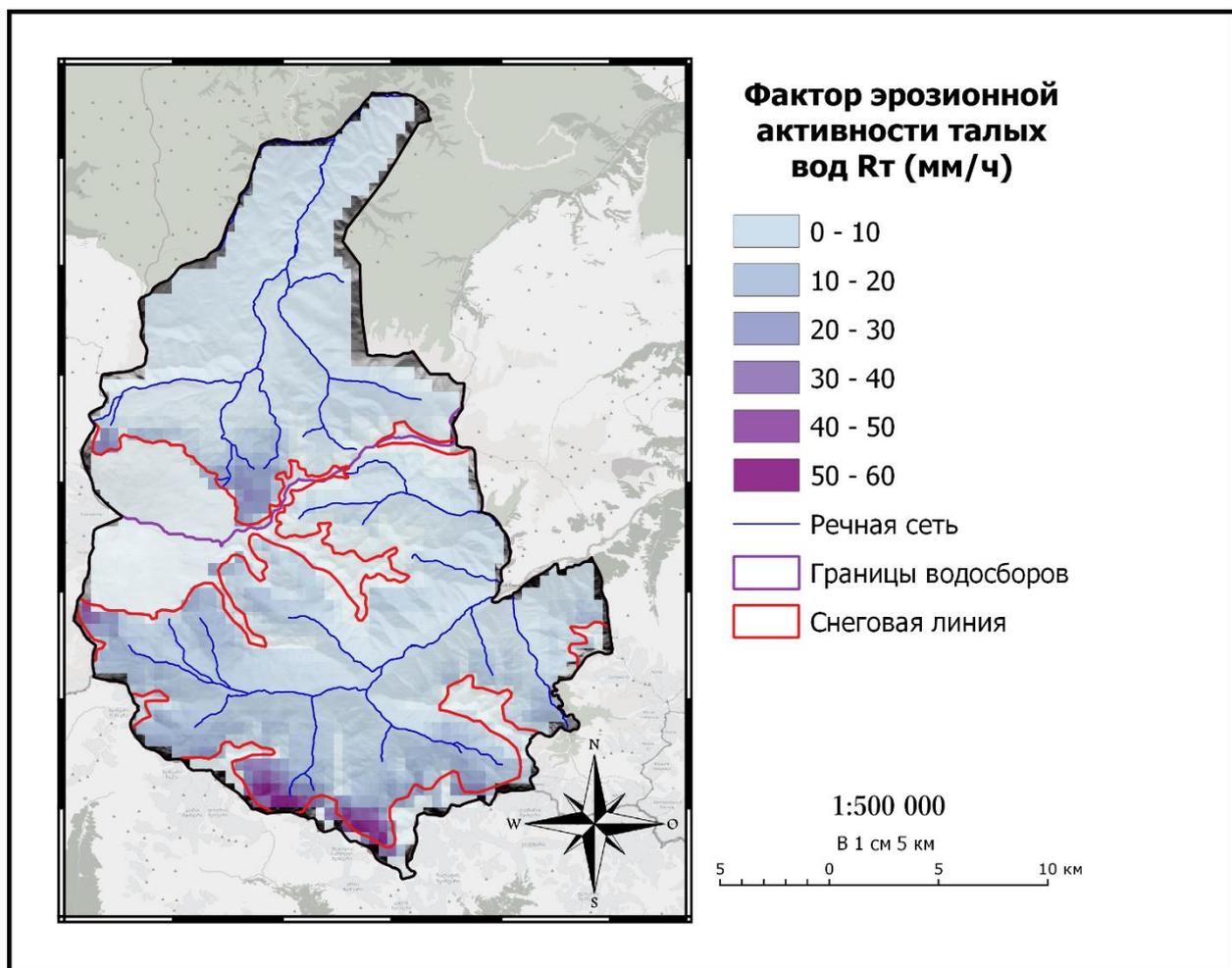


Рисунок 4.2 – Растр эрозии талых вод

Как видно из рисунка 4.2, интенсивность снеготаяния неравномерно распределяется по территории национального парка. Основные потоки приурочены к ледниковым высокогорьям, которые затем совпадают с истоками рек, основное питание которых является ледниковое. На более пологих участках снеготаяние равномерное. Из-за продолжительной зимы и частых колебаний температуры около нуля процесс снеготаяния становится длительным и прерывистым, что несколько снижает эродируемость талых вод [21]. Речная сеть и границы водосборов были рассчитаны по ЦМР с помощью встроенных модулей SAGA GIS.

На основании почвенных характеристик из Единого реестра почвенных ресурсов России, представленных в таблице 1.1, по формуле (3.8) были

рассчитаны значения К-фактора и его вспомогательные элементы, представленные в таблице:

Таблица 4.1 – Показатели эродлируемости почвы

Тип почвы	M	C	S	p	K
Горно-луговая дерново-торфянистая	4445	12,2	3	3	0,0035
Горно-луговая дерновая	5809	9,9	2	3	0,0114
Горно-луговая черноземовидная	3430	10,8	2	5	0,0101
Горная лугово-степная	4228	9,7	3	3	0,0129
Горная примитивная	4346	7,1	3	1	0,0167

Из таблицы 4.1 видно, что почвы имеют низкие значения К, что означает высокую эрозионную устойчивость, которая обуславливается главным образом высоким содержанием органического вещества. Особенно, наименьший показатель К у горно-луговой дерново-торфянистой почвы, которая характеризуется наибольшим содержанием грубого гумуса и слаборазложившихся растительных остатков в верхнем горизонте. Наибольший коэффициент у горной примитивной почвы, характеризующейся высокой скелетностью и низким содержанием органического вещества. Тем не менее для примитивной почвы данный показатель весьма условных, поскольку она обладает специфическими свойствами, связанными в том числе с фрагментарностью почвенного покрова [21]. В программе QGIS рассчитанные значения К-фактора присвоены соответствующим типам почвы на почвенной карта и на основании этого, составлен растр фактора эродлируемости почвы (рис. 4.3):

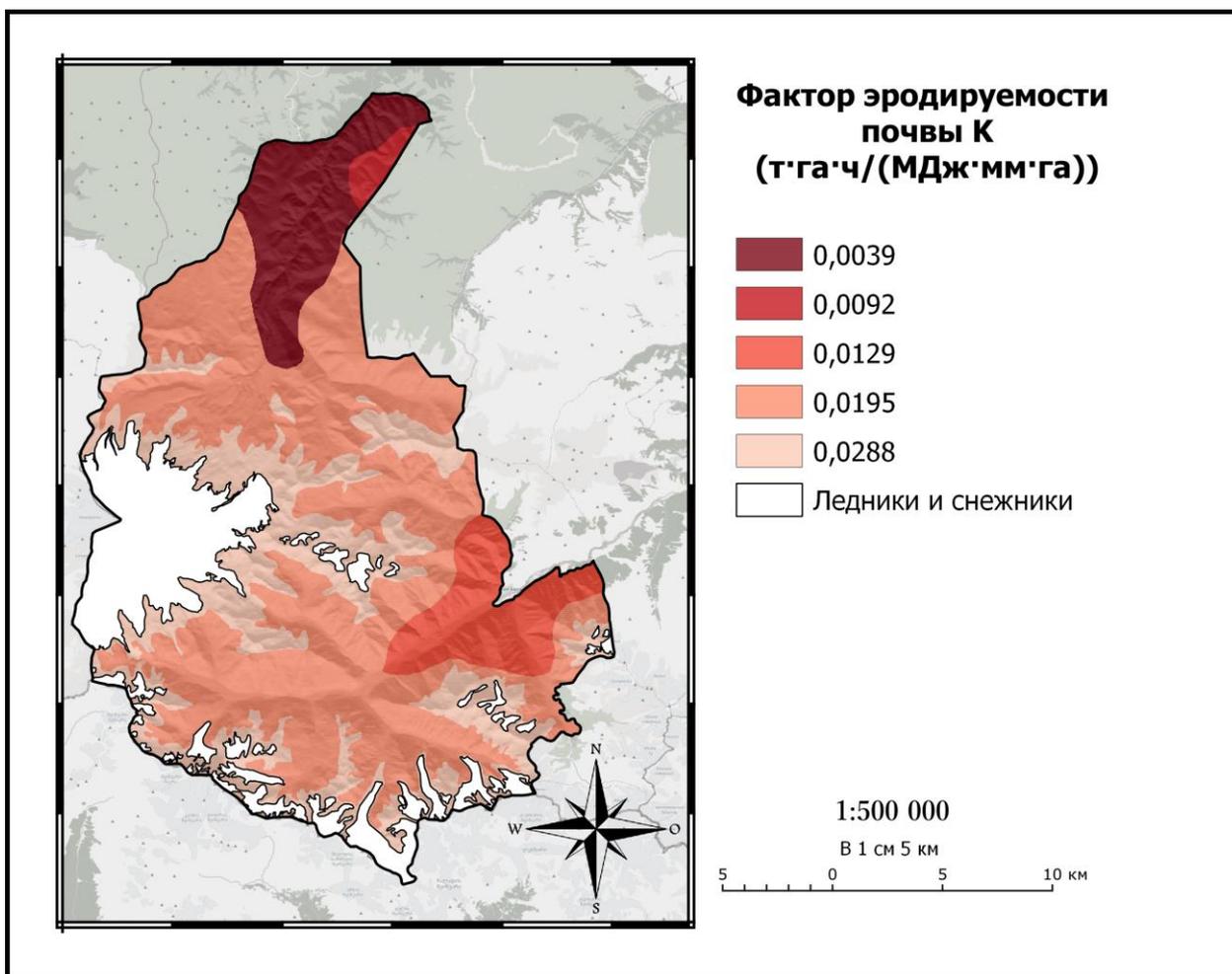


Рисунок 4.3 – Почвенный растр К-фактора

Из рисунка 4.3 прослеживается пространственное распределение К-фактора от наименьшего к наибольшему в зависимости от высоты над уровнем моря, соответствуя определенным условиям почвообразования.

Для определения эрозионного потенциала рельефа за основу взята цифровая модель рельефа (SRTM). Растр был рассчитан на предварительно обработанной модели рельефа с помощью встроенного модуля SAGA GIS – LS-factor. Растр LS-фактора с теневым рельефом представлен на рисунке 4.4:

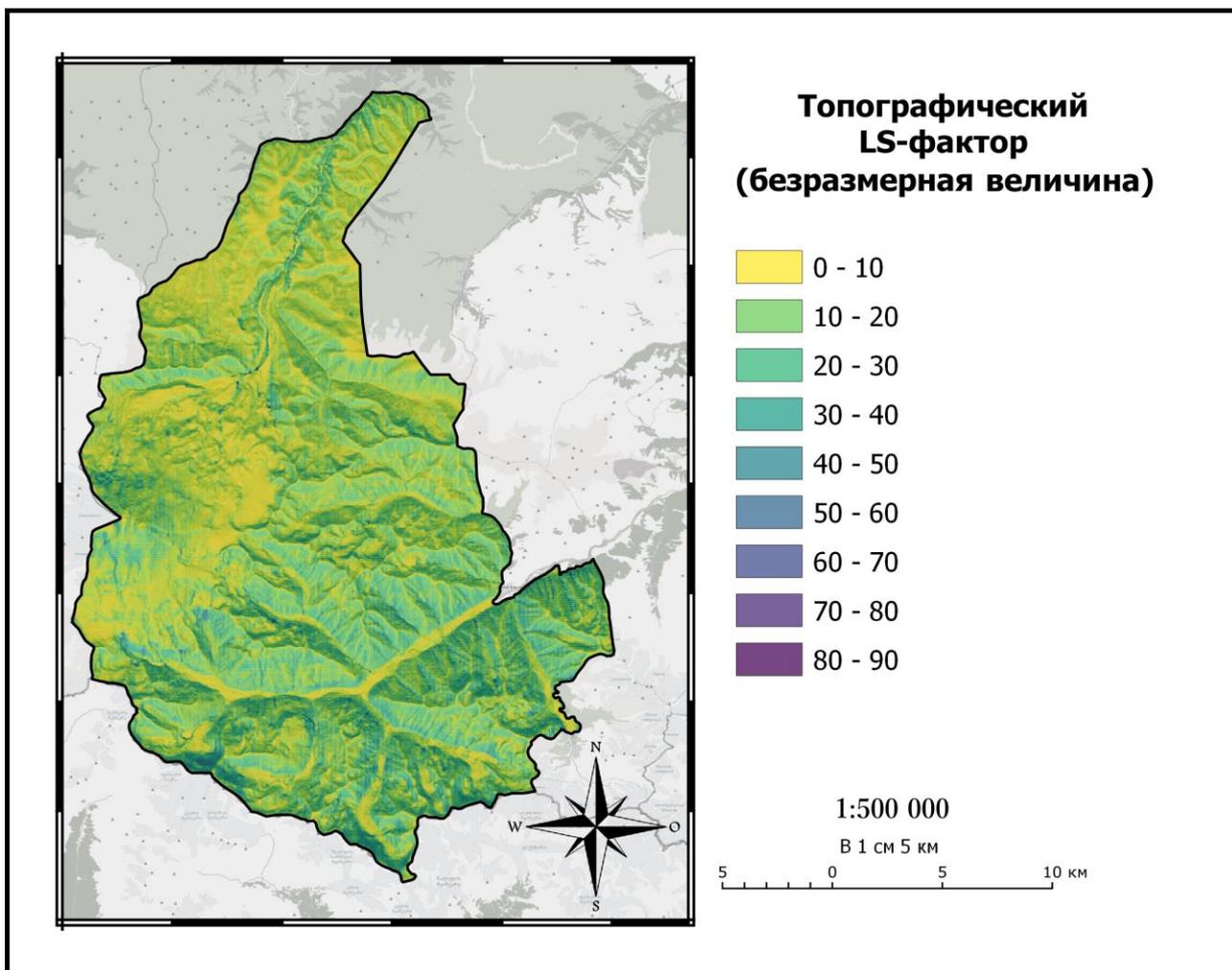


Рисунок 4.4 – Топографический растр LS-фактор

При определении значений индекса NDVI использованы космические снимки со спутника Landsat-8 OLI/TIRS с разрешением 30 м на пиксель за 2 августа 2017 г., скачанные с официального сайта Геологической службы США USGS (United States Geological Survey). Была выбрана именно такая дата, поскольку снимки за тот период характеризовались отсутствием облачности над исследуемой территорией.

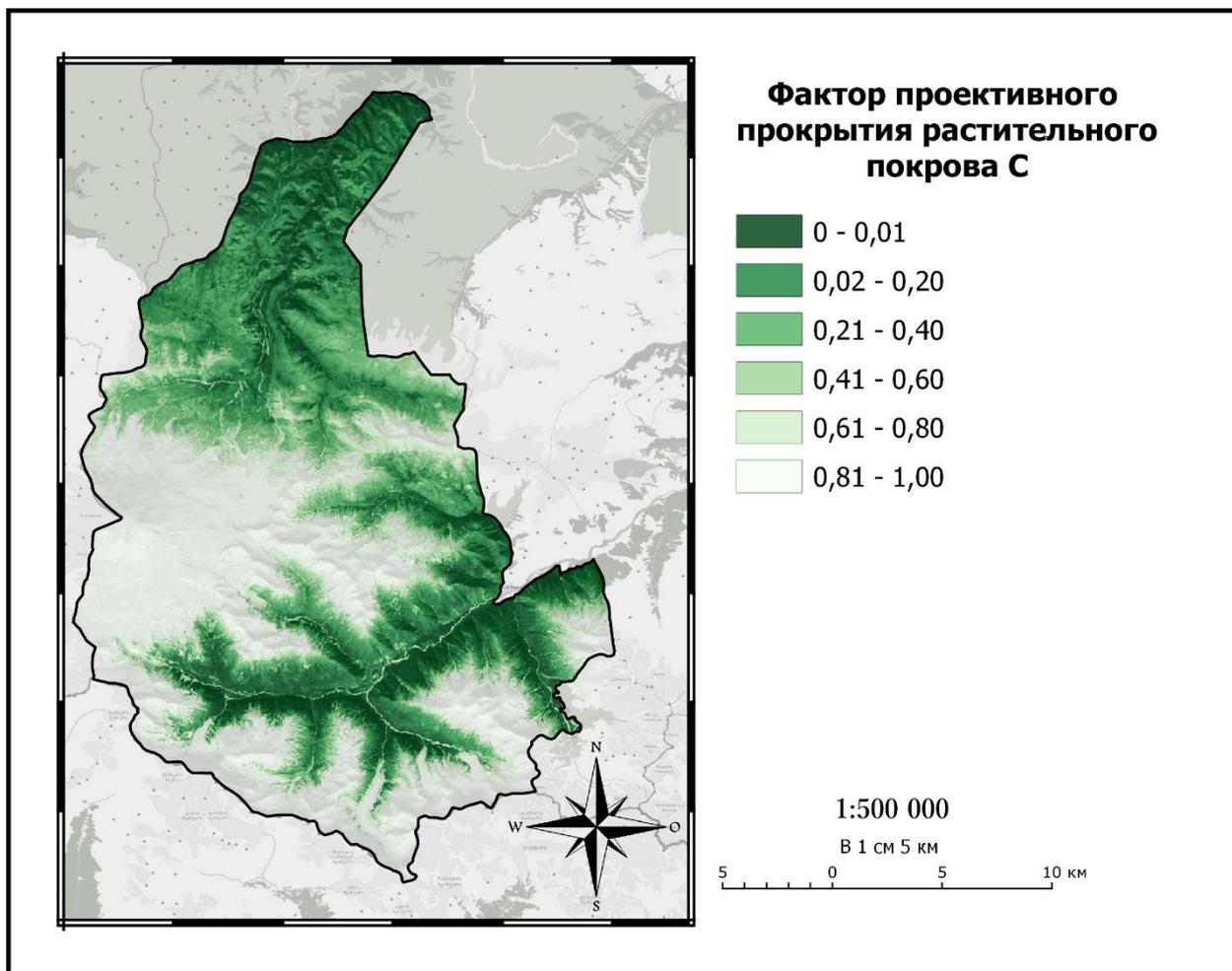


Рисунок 4.5 – Растр С-фактора

На рисунке 4.5 прослеживается приуроченность наиболее плотного растительного покрова к долинам рек. Растительный покров также распределяется в соответствии с высотными поясами, границы которых отчетливо выделяются.

Оценка показателей водной эрозии в данном исследовании проведена по классификации продовольственной и сельскохозяйственной организация объединенных наций (FAO) (табл. 4.2):

Таблица 4.2 – Классификация водной эрозии по FAO

Уровень	Потеря почвы (т/га/год)	Тип эрозии
1	< 0,5	Нормальная
2	0,5 – 5	Незначительная
3	5 – 15	Умеренная
4	15 – 50	Сильная
5	50 – 200	Очень сильная
6	> 200	Катастрофическая

На основании всех составленных факторных карт с помощью калькулятора растров в соответствии со структурной схемой расчета (3.1) и формулой (3.3) была составлена итоговый растр потенциальной водной эрозии:

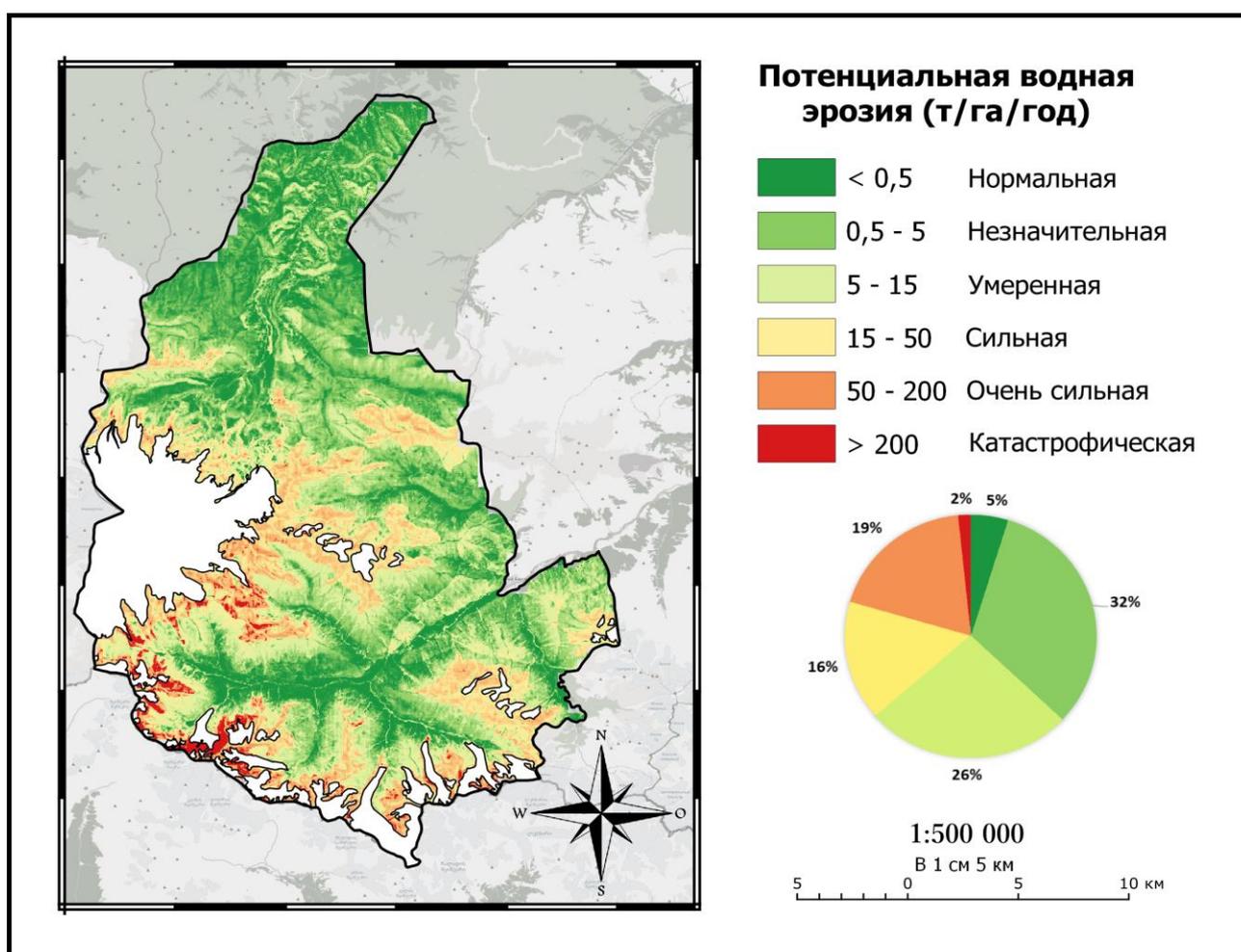


Рисунок 4.6 – Среднегодовые потери почвы от водной эрозии на территории НП «Приэльбрусье»

Как видно из рисунка 4.6, наиболее подверженные эрозии участки находятся в юго-западной части национального парка. Большие значения эрозии обуславливаются избыточным увлажнением наветренных склонов и крутыми склонами высокогорий. Северный подветренный склон горы Эльбрус менее подвержен эрозии. Наиболее защищенными являются пониженные участки речных долин и обширные луговые террасы с густым растительным покровом. Процентное соотношение участков по классификации показывает, что эрозия до 5 т/га занимает более трети территории, что является хорошим показателем. Сильная эрозия более 50 т/га занимает тоже примерно треть, однако, у этого есть свои особенности. Выше отметки 3000 м практически все участки являются подверженными сильной эрозии. Это главным образом определяется климатическими особенностями высотной поясности, хотя у этих территорий есть индивидуальные особенности, поскольку почвенный покров там переходит в скальную поверхность с большим количеством крупнообломочного материала. Исходя из этого, оценка эрозии методом RUSLE для почв столь экстремальных высокогорных областей является мало информативной, поэтому эрозию стоит оценивать до отметок не выше 3000 м.

На рисунке 4.7 приведено статистическое распределение эрозионно-опасных участков по функциональным зонам ООПТ, которое было получено сопоставлением карт потенциальной водной эрозии и функционального деления из рисунка 1.2:

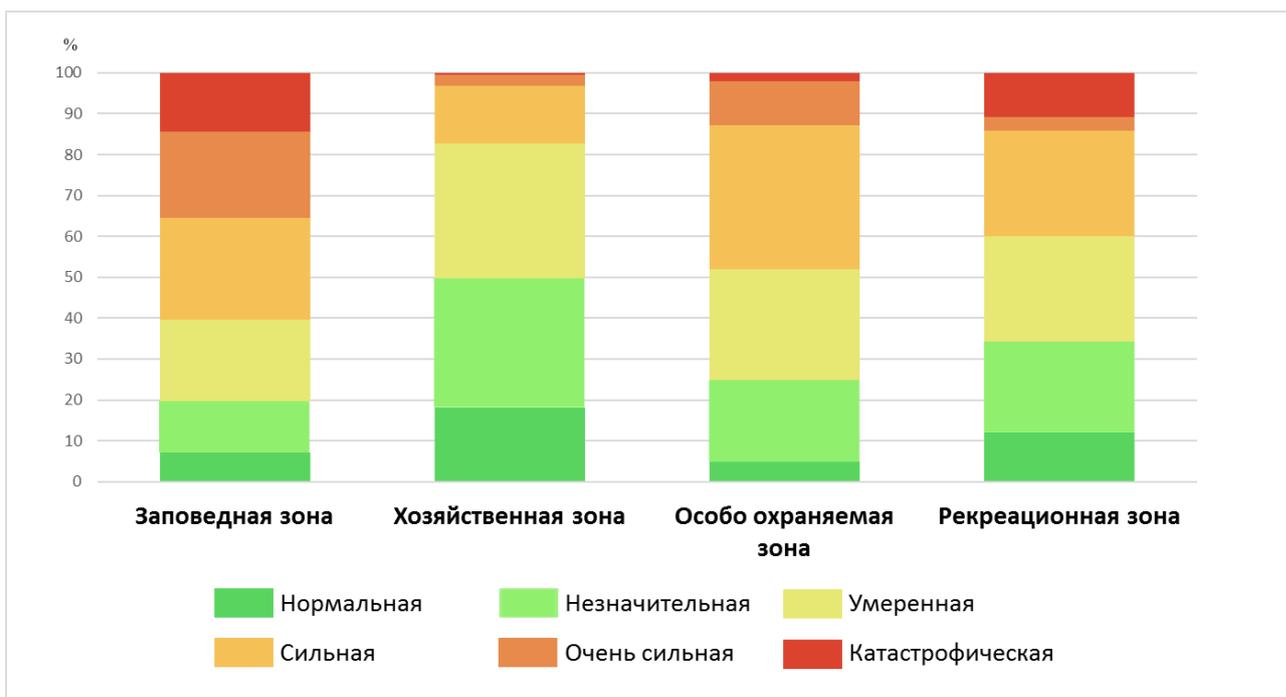


Рисунок 7 – Распределение потенциальной водной эрозии по функциональным зонам НП «Приэльбрусье»

Из рисунка 4.7 видно, что в заповедной и особо охраняемой зоне наибольший процент сильной и катастрофической эрозии. В хозяйственной зоне распределение полностью противоположное – там наибольший процент нормальной и незначительной эрозии. Это позволяет сделать вывод о том, что распределение функциональных зон в национальном парке выполнено достаточно грамотно. Наиболее подверженные риску территории имеет более высокий статус охраны, а на более устойчивых эрозии почвах допускается хозяйственная деятельность. Рекреационная зона в этом плане является неоднозначной. Там значительный процент как нормальной, так и самой сильной эрозии. Это связано с туристической деятельностью в национальном парке, в частности, альпинизмом, который распространен в высокогорной местности. В целом, антропогенная нагрузка от рекреации при соблюдении правил не должна усиливать процесс эрозии почвы.

Заключение

Анализ полученной в ходе исследования карты распределения потенциальной водной эрозии позволил выделить на территории национального парка «Приэльбрусье» наиболее проблемные с точки зрения природопользования участки. Применение новейших геоинформационных технологий в оценке и визуализации сложного многофакторного процесса, позволило, на основе обработки большого массива данных, получить количественные параметры высокой детальности.

На основании проделанной работы сформулированы следующие выводы:

1. По своим физико-географическим характеристикам Национальный парк «Приэльбрусье» находится в эрозионно-опасном регионе России, что главным образом обусловлено сложностью рельефа;

2. Наибольший вклад в водную эрозию вносят ливневые осадки в районе Терскола, что обусловлено расположением наветренных склонов крупных орографических единиц. Талые воды обладают наибольшей эрозионной активностью на подветренных склонах крупных орографических единиц. На плоских участках рельефа талые воды не влияют на эрозию почв.

3. Содержание гумуса является основным показателем почвы, определяющим ее противозэрозионную стойкость. Закономерности высотной поясности оказывают значительное влияние на распределение всех почвенных характеристик.

4. Эрозионный потенциал рельефа колеблется в очень широких пределах, оказывая решающую роль в смываемости почвы с конкретных участков.

5. Растительный покров является главным фактором, защищающим почву от эрозии. Плотность растительного покрова прямо пропорциональна высоте над уровнем моря.

6. В пределах сильной эрозии (более 15 т/га/год) находится 37 %

исследуемой территории. Показатели потери почвы значительно завышены на многих участках. Тем не менее, существующее функциональное зонирование ООПТ достаточно грамотного распределено в соответствии с противоэрозионной устойчивостью земель. Например, в хозяйственной зоне доля умеренной эрозии (менее 15 т/га/год) составляет 81 %.

На данный момент точность модели зависит только от определения параметров. Необходимы дальнейшие эмпирические исследования для стандартизации коэффициентов, подходящих для местных условий в уравнении RUSLE. На отметках выше 3000 м показатели водной эрозии показали наивысшие значения. Вероятнее всего, это связано со специфическими условиями высокогорных почв и экстремальными характеристиками окружающей среды. Расчет потенциальной эрозии на таких высотах следует проводить по иным методикам, специализированным для высотных областей. На данный момент лишь становится очевидным, что ведение хозяйственной деятельности выше 3000 м. считается наиболее потенциально опасным.

Полученные результаты могут стать основой для выработки комплекса превентивных противоэрозионных мероприятий.

Список литературы

1. Кюль Е.В. Национальный парк «Приэльбрусье»: краткое описание проблемы и пути развития [Текст] / Е.В. Кюль – Н.: Изд-во КБНЦ РАН // Биота и среда природных территорий. 2018. № 2. с. 66–84.
2. Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 17. [Текст] / Научный редактор Р.С. Чалов. – М.: Изд-во МГУ. 2010. — 268 с.
3. Справочник по климату СССР. Вып. 13, ч. IV [Текст] / отв. ред. Проценко В.Ф. – Л: Гидрометеорологическое издательство, 1968. – 355 с.
4. Справочник по климату СССР. Вып. 13, ч. II [Текст] / отв. ред. Проценко В.Ф. – Л: Гидрометеорологическое издательство, 1968. – 491 с.
5. Кузнецов М.С., Глазунов Г.П. Эрозия и охрана почв: Учебник [Текст] / М.С. Кузнецов, Г.П. Глазунов; – М.: Изд-во МГУ, 1996 – 335 с.
6. Башенина Н.В., Тушинский Г.К., Голубев Г.Н., Мягков С.М. Краткий геоморфологический очерк Приэльбрусья [Текст] / Н.В. Башенина, Г.К. Тушинский, Г.Н. Голубев, С.М. Мягков: . – М. : Изд-во МГУ, 1974. – 91 с.
7. Короновский М.В., Мышенкова М.С. Строение западного склона вулкана Эльбрус и Приэльбрусья [Текст] / М.В. Короновский, М.С. Мышенкова. М.: // Геология и геофизика юга России, №2. — М: Изд-во МГУ, 2016. — с. 60–73.
8. Горно-луговые почвы. Горные лугово-степные почвы [Электронный ресурс] // soil-db.ru: информационно-справочный портал. URL: <https://soil-db.ru/soilatlas/razdel-3-pochvy-rossiyskoy-federacii/gorno-lugovye-pochvy-gornye-lugovo-stepnye-pochvy> [дата обращения: 03.05.2022].
9. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России [Электронный ресурс] // egrpr.esoil.ru: информационно-справочный портал. URL: <http://egrpr.esoil.ru/content/1sem.html>: [дата обращения: 18.04.2022].
10. Гвоздецкий Н.А. Кавказ [Текст] / Н.А. Гвоздецкий. – М.: Государственное издательство географической литературы, 1963. – 262 с.

11. Оньков И.В. Оценка точности высот SRTM для целей ортотрансформирования космических снимков высокого разрешения [Текст] // ГЕОМАТИКА. – 2011. – №3. – с. 40-46.

12. SRTM [Электронный ресурс] // gis-terra.kz: информационно-справочный портал. URL: <http://gis-terra.kz/globalnye-modeli-relefa/srtm.html> [дата обращения: 12.05.2022].

13. Landsat 8 [Электронный ресурс] // www.usgs.gov: информационно-справочный портал. URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8> [дата обращения: 13.05.2022].

14. Кержанцев А.С., Майснер Р., Демидов В.В. и др. Моделирование эрозионных процессов на территории малого водосборного бассейна [Текст] / А.С. Кержанцев, Р. Майснер, В.В. Демидов и др.; Ин-т фундамент. проблем биологии РАН. – М.: Наука, 2006. – 224 с.

15. Ларионов Г.А. Разномасштабная оценка и картографирование природной опасности эрозии почв [Текст] / Г.А. Ларионов // Эрозия почв и русловые процессы. – 2000. – №12. – с. 49-62.

16. Шевченко Д. А. Влияние стока талых вод на водную эрозию [Текст] / Д. А. Шевченко, Ю. В. Сивоконь // Международный научно-исследовательский журнал. — 2015. — №7 (38) Часть 2. — с. 133—135.

17. РД 52.08.730-2010. ПРОИЗВОДСТВО НАБЛЮДЕНИЙ НАД ИНТЕНСИВНОСТЬЮ СНЕГОТАЯНИЯ И ВОДООТДАЧЕЙ ИЗ СНЕЖНОГО ПОКРОВА [Текст]. – взамен Методических указаний управлениям Гидрометслужбы N 70 "Производство наблюдений над интенсивностью снеготаяния и водоотдачей из снежного покрова; разработан ГУ "ГГИ" Росгидромета. введ. 2010 – 10 – 01.

18. Soil Erodibility in Europe [Электронный ресурс] // esdac.jrc.ec.europa.eu: информационно-справочный портал. URL: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/themes/soil-erodibility-europe> [дата обращения: 17.04.2022].

19. About RUSLE [Электронный ресурс] // iwr.msu.edu: информационно-

справочный портал. URL: <http://www.iwr.msu.edu/rusle/about.htm> [дата обращения: 17.05.2022].

20. NDVI – теория и практика [Электронный ресурс] // gis-lab.info: информационно-справочный портал. URL: <https://gis-lab.info/qa/ndvi.html> [дата обращения: 07.05.2022].

21. Разумов В. В., Ларионов Г. А., Литвин Л. Ф. Водная и ветровая эрозия почв [Текст] / В.В. Разумов, Г.А. Ларионов, Л.Ф. Литвин. – М.: // Опасные природные процессы юга Европейской части России. — М: Феория, 2008. — с. 155.

Приложения

Приложение А

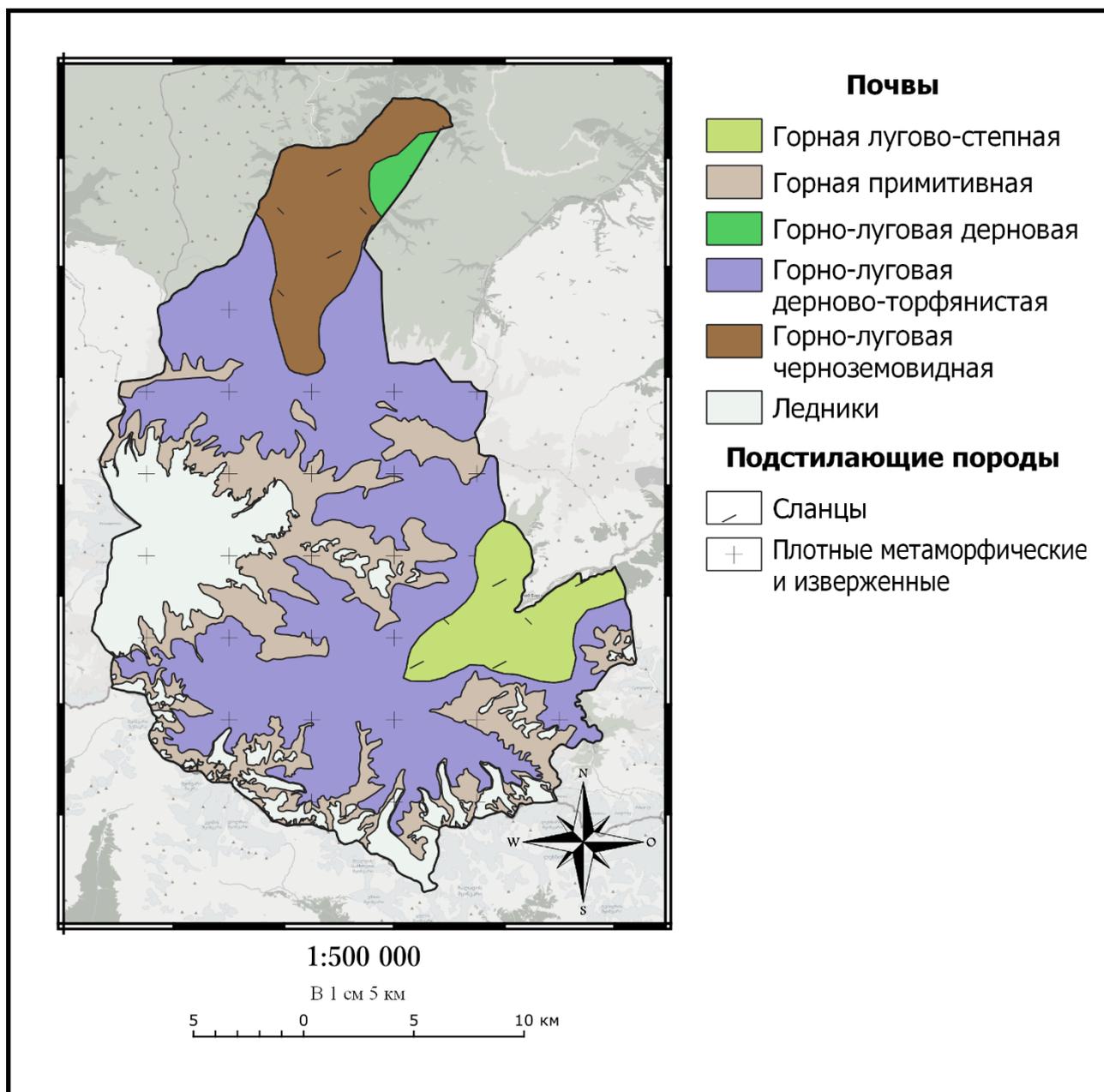


Рисунок А.1 – Почвенная карта Национального парка «Приэльбрусье»

Приложение Б

Таблица Б.1 – Средние месячные суммы осадков

Станция	Номер станции	I	II	III	VI	V	VI
Малка	542	17	18	30	43	91	90
Прохладная	543	19	20	26	40	68	81
Каменноостское	544	13	12	24	41	89	106
Баксан	545	25	24	30	44	74	95
Хамидие	546	30	24	36	44	63	79
Гунделен	547	19	19	32	47	100	99
Котляревская	548	21	18	30	42	64	72
Нижний Чегем	549	18	19	32	47	97	96
Нальчик	550	20	23	37	57	107	107
Долинск	551	23	24	39	59	120	119
Терек	552	17	17	28	42	87	87
Верхний Курп	553	20	20	24	40	71	88
Старый Черек	554	19	19	31	46	95	93
Белая Речка	555	25	26	43	64	133	131
Зарагиж	556	22	21	36	53	109	108
Верхний Баксан	558	14	15	26	38	73	72
Советское	559	24	24	39	58	120	120
Черек	560	23	22	38	56	116	114
Усенги	561	30	32	48	68	77	60
Терскол	562	37	41	74	150	260	257
Зеленчукская	37112	18	17	38	58	104	155
Кисловодск	37123	20	19	39	61	107	124
Шаджатмаз	37126	17	15	28	54	100	111
Клухорский перевал	37196	126	106	148	161	149	140
Владикавказ	37228	31	34	64	93	148	183
Домбай		129	106	140	124	141	166
Архыз		130	108	144	142	165	191
Черкесск		42	39	67	85	111	125
Местиа		60	58	73	80	88	91
Теберда		84	71	114	128	162	223

Продолжение таблицы Б.1

VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год, мм	R, МДж·мм/га·час
68	52	48	38	29	18	542	237,26
60	42	38	33	30	23	480	203,26
77	80	54	36	17	14	563	248,77
68	48	43	38	35	24	548	240,54
62	47	42	39	48	36	550	241,64
74	58	52	42	31	19	592	264,67
66	47	38	36	27	23	484	205,46
74	58	51	42	31	19	584	260,28
81	64	56	46	33	25	656	299,76
91	71	63	51	38	22	720	334,85
66	51	46	36	27	17	521	225,74
64	49	39	32	26	19	492	209,84
72	56	50	40	30	19	570	252,61
101	78	71	57	41	26	796	376,51
83	64	58	47	34	21	656	299,76
56	43	40	32	26	15	450	186,82
91	71	64	51	38	23	723	336,49
87	68	61	48	36	22	691	318,95
71	65	78	64	51	36	680	312,91
158	136	110	80	48	35	1386	699,98
105	82	70	44	28	19	738	344,62
95	63	61	38	27	23	677	311,02
90	74	57	32	21	15	614	276,63
132	127	176	225	179	141	1809	931,98
111	90	70	62	40	30	957	464,56
140	124	102	122	121	131	1546	787,71
146	135	117	135	126	137	1676	858,98
85	79	73	69	51	48	874	419,28
84	89	86	98	75	78	960	466,43
200	189	133	115	87	88	1594	814,02

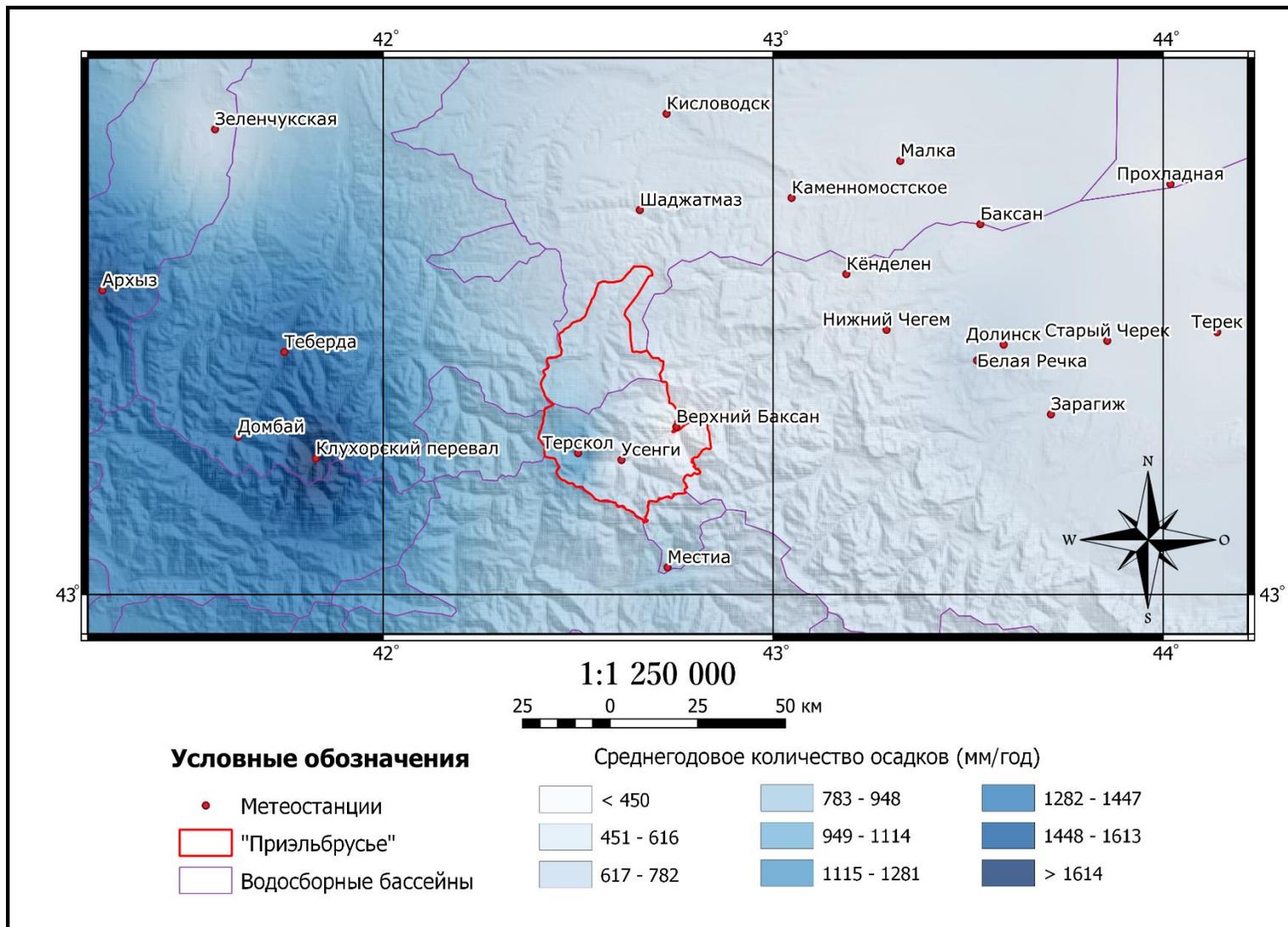


Рисунок Б.1 – Распределение среднегодовых сумм осадков по исследуемой территории

Приложение В

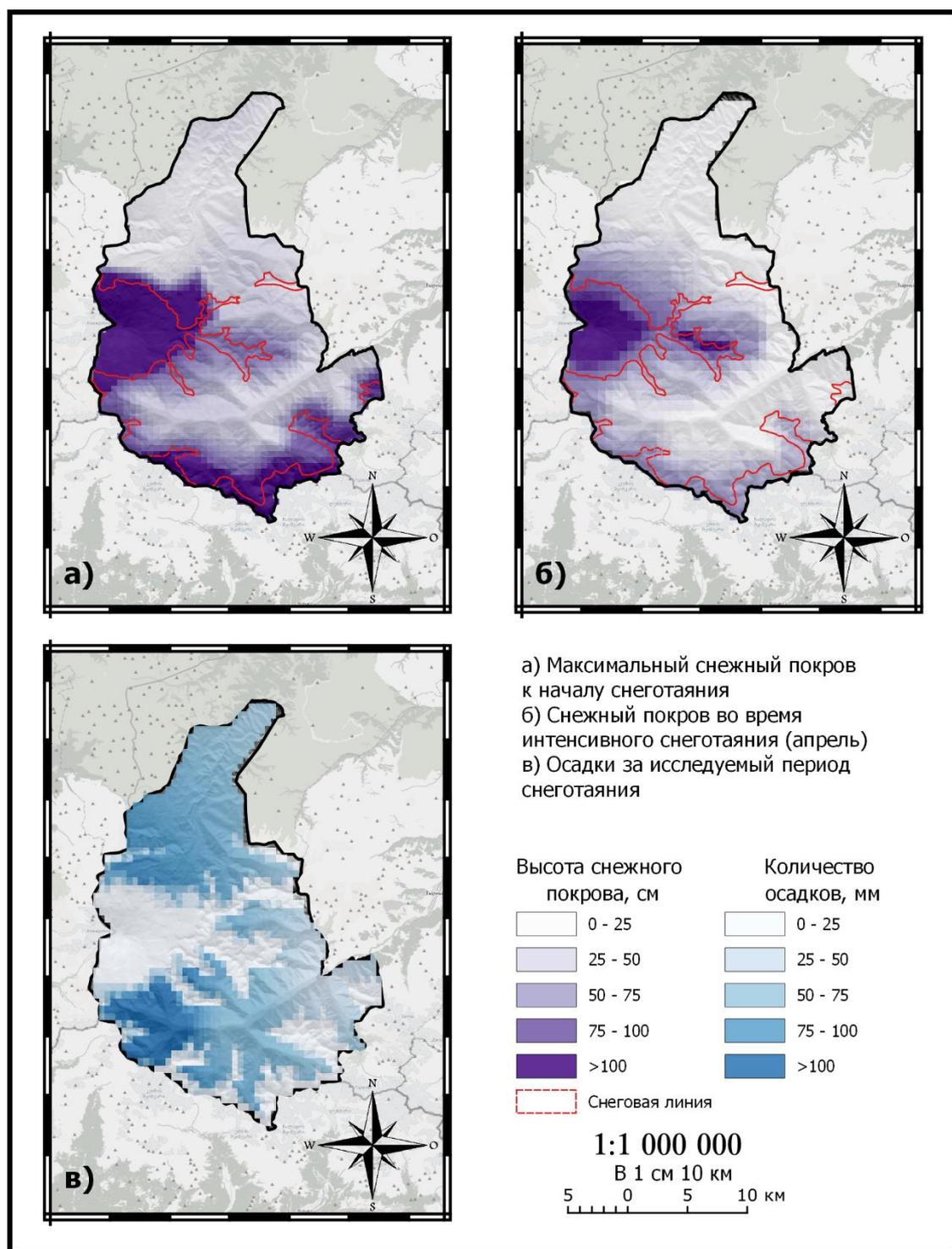


Рисунок В.1 – Промежуточные растры для расчета интенсивности снеготаяния в национальном парке «Приэльбрусье»