

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

УДК 502/504 (574.51)

На правах рукописи

ХАЛЫКОВ ЕРКЕБУЛАН ЕРБОЛАТОВИЧ

**Овражная эрозия в западной части Жетысу Алатау
и тенденция её развития**

6D060800 Экология

Диссертация на соискание степени
доктора философии (PhD)

Отечественный научный консультант
Медеу А.Р., д.г.н., профессор,
академик НАН РК

Зарубежный научный консультант
Тикунов В.С., д.г.н., проф.
МГУ им. М.В. Ломоносова

Республика Казахстан
Алматы, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	4
ОПРЕДЕЛЕНИЯ	5
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	7
ВВЕДЕНИЕ	8
1 СОВРЕМЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ОВРАГОВ	15
1.1 Современные представления о развитии овражной эрозии	15
1.2 Классификация оврагов	19
1.2.1 Классификация оврагов по генезису	21
1.2.2 Классификация оврагов по месту развития	24
1.2.3 Классификация оврагов по стадии развития	27
1.2.4 Классификация оврагов по морфометрии	29
Выводы по 1 разделу.....	30
2 ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ, ОБУСЛАВЛИВАЮЩИЕ РАЗВИТИЕ ОВРАЖНОЙ ЭРОЗИИ	32
2.1 Геолого-геоморфологические факторы	32
2.1.1 Геологические факторы	32
2.1.2 Литологические свойства пород	36
2.1.3 Геоморфологическое строение	38
2.1.4 Рельеф как фактор овражной эрозии	43
2.2 Климатические факторы	50
2.3 Почвенно-растительные факторы	56
2.4 Антропогенные факторы	62
Выводы по 2 разделу.....	73
3 МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОВРАЖНОЙ ЭРОЗИИ	76
3.1 Применение полевых методов для изучения овражной эрозии	76
3.2 Применение методов дистанционного зондирования Земли при исследовании овражной эрозии	79
3.3 Применение методов лазерного сканирования для исследования овражной эрозии	84
Выводы по 3 разделу.....	89
4 ОЦЕНКА РАЗВИТИЯ ОВРАЖНОЙ ЭРОЗИИ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЖЕТЫСУ АЛАТАУ	91
4.1 Морфометрические характеристики оврагов	91
4.2 Динамика овражной эрозии	98
4.3 Оценка пораженности овражной эрозией западного Жетысу Алатау	108
4.4 Площадное распространение овражной сети на исследуемых участках Жетысу Алатау	118

Выводы по 4 разделу.....	121
5 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УПРАВЛЕНИЮ ОВРАЖНЫМИ ПРОЦЕССАМИ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЖЕТЫСУ АЛАТАУ	124
5.1 Рекомендации по управлению овражными процессами западной части Жетысу Алатау	124
Выводы по 5 разделу.....	133
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	134
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	137
ПРИЛОЖЕНИЕ А - Классификация оврагов северных склонов Иле Алатау (по Ульману А.А., 1996)	151
ПРИЛОЖЕНИЕ Б - Морфологические типы оврагов	152
ПРИЛОЖЕНИЕ В - Геологические карты мониторинговых участков	153
ПРИЛОЖЕНИЕ Г - Размываемость горных пород в западной части Жетысу Алатау	156
ПРИЛОЖЕНИЕ Д - Геоморфология мониторинговых участков	157
ПРИЛОЖЕНИЕ Е - Физико-географическая карта западной части Жетысу Алатау	161
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж - Горизонтальное расчленение мониторинговых участков	162
ПРИЛОЖЕНИЕ И - Вертикальное расчленение мониторинговых участков	165
ПРИЛОЖЕНИЕ К - Почвы западной части Жетысу Алатау	167
ПРИЛОЖЕНИЕ Л - Растительность западной части Жетысу Алатау	171
ПРИЛОЖЕНИЕ М - Антропогенные овраги	175
ПРИЛОЖЕНИЕ Н - Этапы обработки наземных лазерных данных	177
ПРИЛОЖЕНИЕ П - Морфометрические характеристики оврагов	178
ПРИЛОЖЕНИЕ Р - Линейный рост и площадное развитие оврагов на ключевом участке №1	183
ПРИЛОЖЕНИЕ С - Линейный рост и площадное развитие оврагов на ключевом участке №2	189
ПРИЛОЖЕНИЕ Т - Линейный рост и площадное развитие оврагов на ключевом участке №3	192
ПРИЛОЖЕНИЕ У - Линейный рост и площадное развитие оврагов на ключевом участке №4	194
ПРИЛОЖЕНИЕ Ф - Карты густоты овражной сети участков №3 и №4	197
ПРИЛОЖЕНИЕ Х - Карты плотности оврагов участков №3 и №4	199

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие документы и стандарты:

Закон Республики Казахстан «О науке» от 18.02.2011 г. №407-IV ЗРК;

Закон Республики Казахстан «Об образовании» от 27 июля 2007 г.;

ГОСО РК 5.04.034-2011: Государственный общеобязательный стандарт образования Республики Казахстан. Послевузовское образование. Докторантура. Основные положения (изменения от 23 августа 2012 г. №1080);

ГОСТ Р 7.0.4-2006. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Издания. Выходные сведения. Общие требования и правила оформления;

ГОСТ Р 7.0.5-2008. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления;

ГОСТ 2.105-95. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам;

ГОСТ 7.1-2003. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления;

ГОСТ 7.11-2004. (ИСО 832:1994) Система по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Сокращение слов и словосочетаний на иностранных европейских языках;

ГОСТ 7.12-93. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке. Общие требования и правила;

ГОСТ 7.80-2000. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Заголовок. Общие требования и правила составления.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертации применяют следующие термины с соответствующими определениями:

Антропогенные факторы – экологические факторы, обусловленные различными формами влияния деятельности человека на окружающую среду.

Антропогенные овраги – эрозионные овражные формы рельефа, образование которых вызвано антропогенным вмешательством в естественную рельефную среду, они делятся на сельскохозяйственные и техногенные.

Базис эрозии – поверхность, на уровне которой водный поток (река, ручей) теряет свою живую силу и ниже которой он не может углубить своё ложе. Различают постоянный, или общий базис эрозии, и временный, или местный базис эрозии.

Бедленд – вид сухого рельефа, где наиболее мягкие осадочные породы и богатые глиной почвы были подвержены обширной ветровой и водной эрозии. Бедленду характерны крутые склоны, резко и сложно расчленённый рельеф, минимальное присутствие растительности, недостаток реголита и развитый процесс вымывания. Каньоны, ущелья, овраги, вершины и другие подобные геологические формы типичны для бедлендов. Рельеф бедленда непригоден для хозяйственной деятельности и земледелия.

Дешифрирование аэрофотоснимков – распознавание заснятых объектов на земной поверхности, в частности рельефа или растительности, их состояния, характера поверхности, границ.

Лёсс – однородные, обычно неслоистые, пористые, слегка сцементированные, мергелистые или суглинистые покровные отложения, он сложен преимущественно зёрнами алевритовой размерности с подчинённым количеством частиц глинистой и мелкой песчаной фракций.

Меры борьбы с оврагами – высадка растений, контроль за водотоками, применение инженерных и других сооружений в овраго-опасных участках.

Низкогорный рельеф – низкогорье, низкие горы, рельеф невысоких (не более нескольких сотен метров относительной высоты) гор и гряд с мягкими округлыми профилями при отсутствии или слабой выраженности вертикальной ландшафтной дифференциации.

Межгорная равнина – равнина, расположенная в межгорной депрессии, обычно аккумулятивная (пролювиальная, аллювиальная, озёрная).

Овражная эрозия – сложный динамичный рельефообразующий процесс, связанный с образованием и развитием овражных форм рельефа.

Овраг – образованный временными водными потоками эрозионный размыв почвы и грунтов в виде относительно глубоких и крутосклонных незадернованных ложбин. Овраги имеют размеры в длину до нескольких километров, ширина и глубина варьируются от нескольких до десятков метров.

Предгорья – пониженные окраинные части горных стран, характеризующиеся холмистым или низкогорным рельефом, они представляют собой переход от горной страны к прилежащей равнине. Предгорья обычно

сложены более молодыми породами, чем собственно горы, или их продуктами. В Средней Азии предгорья еще называют прилавки, адыры.

Природные факторы – сложный комплекс различных факторов или свойств географической среды, существенно влияющий на окружающую среду и жизнь человека. К природным факторам относятся геологическая среда, рельеф, климат, гидрологический режим рек и водоемов, почва, растительный и животный мир и другие факторы.

Рельеф – совокупность неровностей земной поверхности, разных по очертаниям, размерам, происхождению, возрасту и истории развития. Рельеф может быть положительным, образующий возвышения рельефа, и отрицательным, представляющих собой впадины.

Сай – узкая, глубокая и крутостенная долина в горных районах с постоянным или временным водотоком, в отличие от каньона дно не полностью занято руслом реки.

Среднегорный рельеф – средневысотные горы, средние горы, рельеф гор с мягкими округлыми формами вершинных частей, нередко с реликтами поверхностей выравнивания, широким распространением элювия и коры выветривания, имеют выраженную высотную поясность.

Ускоренная эрозия – антропогенная эрозия, нерациональное ведение хозяйства, ведущее к ускоренному разрушению грунтов, почвы и подстилающих горных пород поверхностными водами.

Эрозия – процесс разрушения и перенос горных пород, почв или любых других грунтов с нарушением их целостности и изменением их физико-химических свойств под воздействием стекающей воды, она является причиной образования овражных форм рельефа.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ГИС	– географическая информационная система
ДДЗ	– данные дистанционного зондирования
НЛС	– наземное лазерное сканирование
ИГВБ	– Институт географии и водной безопасности
МОН РК	– Министерство образования и науки Республики Казахстан
НИР	– научно-исследовательская работа
РК	– Республика Казахстан
СНГ	– Содружество Независимых Государств
СНиП	– строительные нормы и правила

ВВЕДЕНИЕ

Общая характеристика работы. Исследование посвящено изучению процесса овражной эрозии в западной части Жетысу Алатау для целей создания научно-обоснованных рекомендаций с учетом региональных особенностей по управлению оврагообразованием.

В ходе исследований изучались современные представления о развитии овражной эрозии, природно-антропогенные факторы, влияющие на оврагообразование, проводился мониторинг процесса овражной эрозии западной части Жетысу Алатау и дана его оценка.

В связи с интенсификацией сельского хозяйства, расширением площади орошаемых земель, развитием животноводства и с последними климатическими колебаниями защита земельных ресурсов в Казахстане приобретает особенно важное значение. Главной задачей диссертационного исследования являются оценка природно-антропогенных факторов, влияющих на формирование и развитие овражной эрозии и составление рекомендаций по управлению овражными процессами западной части Жетысу Алатау.

Актуальность темы исследования. Актуальность исследований овражной эрозии в пределах западной части Жетысу Алатау определяется потребностями в планировании допустимых нагрузок на природную среду, экологически безопасного функционирования сельскохозяйственных земель и инфраструктуры динамично развивающегося региона. Западная часть Жетысу Алатау на протяжении тысячелетий является местом хозяйственной деятельности человека, что обусловлено благоприятными природными условиями. В последнее время в связи с увеличением сельскохозяйственных территорий и развитием агропромышленного комплекса район исследования становится интенсивно осваиваемым. Экономические показатели региона динамично развиваются, особенно в таких отраслях, как сельское хозяйство, земледелие, строительство и добыча полезных ископаемых. Также регион отличается благоприятными почвенно-климатическими условиями, хорошей водообеспеченностью и высокой экономической продуктивностью для ведения сельского хозяйства. Проблема защиты почвенного покрова и земельных ресурсов от овражной эрозии является одной из важных проблем для западной части Жетысу Алатау, где смыв и размыв наиболее активно проявляются в хорошо освоенных территориях и наносят значительный ущерб.

Одним из активных и деструктивных современных рельефообразующих процессов в Жетысуском регионе является овражная эрозия. Овражная эрозия наиболее проявлена в низкогорных и предгорных районах запада Жетысу Алатау вблизи населенных пунктов. В настоящее время площади эродированных земель увеличиваются, снижается их плодородие и продуктивность. Экологическим результатом проявления овражной эрозии является снижение плодородия земель и эффективность сельскохозяйственного производства.

Исследование особенностей развития овражной эрозии в современных условиях западной части Жетысу Алатау весьма актуально и требует

мониторинга, оценки, прогнозирования её развития и разработки приемлемых методов борьбы с оврагами. Интенсивное оврагообразование увеличивает экологическую напряженность природно-антропогенной среды региона, отчуждает сельскохозяйственные земли и ухудшает их качество, создает угрозу объектам дорожной и селитебной инфраструктуры, причиняет ущерб населенным пунктам. Возможность дальнейшего освоения западной части Жетысу Алатау, сохранение экологической устойчивости компонентов природных систем требует необходимости комплексного анализа и разработки мер по смягчению от овражной эрозии.

Цель исследования – провести мониторинг, изучить динамику, дать оценку проявления овражной эрозии, установить степень влияния природно-антропогенных факторов на оврагообразование и разработать научно-обоснованные рекомендации с учетом региональных особенностей по управлению овражными процессами западной части Жетысу Алатау.

Для достижения этой цели были определены следующие задачи:

- провести обзор и проанализировать имеющиеся отечественные и зарубежные научные материалы о процессе овражной эрозии и её распространения в исследуемом регионе;
- обосновать классификации оврагов;
- выявить ведущие природные и антропогенные факторы, обуславливающие развитие овражной эрозии в регионе;
- проанализировать существующие методы исследований овражной эрозии и выбрать наиболее эффективные для территории исследования;
- определить ключевые участки для детального исследования морфометрических характеристик оврагов и динамики развития овражной эрозии;
- собрать качественные и количественные данные на ключевых участках, позволяющие произвести оценку развития овражной эрозии;
- составить карты густоты и плотности овражной эрозии, выявить площадное распространение овражной сети в пределах западной части Жетысу Алатау;
- разработать научно-обоснованные рекомендации с учетом региональных особенностей по управлению овражными процессами западной части Жетысу Алатау.

Объект исследования – овражные формы рельефа в предгорных, низкогорных и равнинных районах западного Жетысу Алатау и протекающие эрозионные процессы.

Предмет исследования – овражная эрозия и природно-антропогенные процессы, влияющие на овражные формы рельефа.

Методика исследования. Теоретическо-методологической основой диссертационного исследования являются сравнительно-географический, картографический, ГИС-технологический, маршрутный и полустационарный-полевой подходы, полевые натурные наблюдения, дешифрирование данных дистанционного зондирования, статистическая обработка результатов географических исследований, геоэкологические и геоморфологические

исследования. Диссертационное исследование носит междисциплинарный характер. В данном исследовании для достижения поставленных задач основным способом является использование методов и методологии географической и геоэкологической наук.

Картографический метод являлся ведущим методом проведенного исследования, он помог выявить природно-антропогенные факторы, влияющие на оврагообразование, и дать оценку развития овражной эрозии. Проведены рекогносцировочные и полевые исследования, задачами которых являлись создание ключевых мониторинговых участков с установкой реперов наблюдения для динамики овражной эрозии. При маршрутных исследованиях были составлены карта-схемы распространения оврагов в пределах западной части Жетысу Алатау, установлено морфологическое разнообразие этих овражных форм и разработаны принципы их классификации. Полустационарные полевые наблюдения, организованные на типичных оврагах, помогли выявить динамику их развития и морфометрические свойства. Морфометрический анализ и картометрические методы позволили получить характеристики оврагов, рассчитать площадь и объемы овражной сети. Динамика развития овражной эрозии изучалась полевыми и картографическими методами в течение 2013-2022 годов.

Метод НЛС осуществлялся с использованием наземного лазерного 3D сканера RIEGL VZ-4000 для получения детальной цифровой модели местности в виде массива облаков точек. Использование метода НЛС позволил определить количественные характеристики развития эрозионных процессов, в частности объем смытого грунта, линейные изменения поперечных и продольных профилей. Проводилось вычисление интенсивности роста оврагов путем сопоставления разновременных космических снимков среднего и высокого разрешения. На основе картографических материалов и космических снимков впервые на территорию исследования были составлены карты густоты овражной сети, плотности оврагов, площадное распространение овражной эрозии и дешифрованы 2031 единиц оврагов. В основу работы положены результаты 10-летних исследований автора, выполненные по территории Жетысу Алатау на базе экспедиций лаборатории геоморфологии и геоинформационного картографирования АО «Института географии и водной безопасности» МНВО РК, а также 5-летний опыт изучения оврагов с применением ГИС-технологий, наземных реперов и НЛС. Для систематизации и анализа исходной информации, подготовки исследовательской работы были использованы современные компьютерные технологии. При обработке космических снимков и создании карт было применено программное обеспечение ArcGIS 10.8, Google Earth Pro, RiscanPro.

Источниками материалов исследования являлись – архивные, фондовые картографические и литературные материалы; в том числе – геологическая карта Казахской ССР, масштаб 1:500000. Серия Южно-Казахстанская; геологическая карта Казахской ССР, масштаб 1: 200 000. L-43-XXXVI; геологическая карта СССР, масштаб 1:200 000. L-43-XXXVI (серия Джунгарская) (авт.: Майрин С.Е., Стеркин В.Д.); геоморфологическая карта Казахстана, масштаб 1:1 500 000 (авт.:

Вислогузова А.В., Медеу А.Р. и др.); почвенная карта Семиречья, масштаб 1:500 000 (авт.: Пачикин К.М., Ерохина О.Г., Кусаинова М.М., Соколов А.А.); карта «Растительность», масштаб 1:5 000 000 (авторы: Волкова Е.А., Огарь Н.П., Рачковская Е.И., Садвокасов Р.Е., Храмцов В.Н.); фондовые материалы АО «Института географии и водной безопасности» МОН РК; фактический материал, полученный автором в полевых исследованиях (2013-2018 гг.). Данные дистанционного зондирования, включающие мультиспектральные космические снимки Landsat, Sentinel-2, GeoEye-1 и др.

Научная новизна исследования определяется следующими позициями:

- впервые для района исследования выявлена роль и дана оценка природных и антропогенных факторов, определяющих развитие овражной эрозии;
- составлена карта размываемости горных пород западной части Жетысу Алатау;
- впервые проводилось обширное дешифрирование и верификация оврагов и овражной сети западной части Жетысу Алатау;
- впервые получены развернутые данные о морфометрических характеристиках овражных форм рельефа западной части Жетысу Алатау;
- впервые получены данные о годовой многолетней динамике овражной эрозии с карт-схемами;
- впервые для района исследования составлены карты густоты овражной сети;
- впервые для района исследования составлены карты плотности оврагов;
- впервые получены количественные данные площадного распространения овражной сети в западной части Жетысу Алатау;
- впервые дана оценка пораженности овражной эрозией западного Жетысу Алатау, характеризующих расчлененность территории оврагами и темпы их развития;
- впервые разработаны научно-обоснованные рекомендации по управлению овражными процессами западной части Жетысу Алатау с учетом региональных особенностей.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретико-методологическая основа диссертационного исследования базируется на разработках ведущих научных отечественных и зарубежных школ и их представителей в области географии, геоморфологии, эрозиоведения, геоэкологии, природопользования и др. При геоморфолого-экологическом исследовании овражной эрозии и ее проявления в интенсивно осваиваемых районах западной части Жетысу Алатау использованы теоретические и методические положения, разработанные Б.Ф. Косовым [1], Е.Ф. Зориной [2] С.С. Соболевым [3], Д.Л. Армандом [4, 5], Н.И. Маккавеевым [6], Заславским М.Н. [7], Б.П. Любимовым [8], Д.А. Тимофеевым [9], А.С. Кесь [10], Рысиным И.И. [11], А.Г. Рожковым [12], М.Ж. Жандаевым [13], А.Р. Медеу [14], А.А. Ульманом [15], А.Н. Нигматовым [16], С. Castillo [17], Zhen Li [18], Ollobarren, P. [19], Matthias Vanmaercke [20].

Теоретическое значение полученных результатов исследования заключается в получении новых научных знаний в области изучения водной

эрозии для обеспечения рационального использования земельных ресурсов в Жетысуском регионе. Полученные материалы могут использоваться при геоморфологическом районировании для оценки эрозионного расчленения региона. Выявленные закономерности развития овражной эрозии могут быть применимы для аналогичных территорий. Учитывая недостаточную изученность развития овражной эрозии в Казахстане, результаты данного исследования будут способствовать развитию геоморфологии и геоэкологии по вопросам разработки методологических основ по управлению овражными процессами (на примере западной части Жетысу Алатау).

Практическая ценность и значимость работы сводится к решению задач по сохранению земельных ресурсов и рациональному использованию сельскохозяйственных территорий путем обеспечения научно-обоснованных рекомендаций с учетом региональных особенностей по управлению овражной эрозией. Полученные данные оценки природных и антропогенных факторов по развитию овражной эрозии могут быть использованы при планировании ново осваиваемых земель региона. Использование полученных данных о морфологии и закономерностях развития овражной эрозией позволит снизить риски при проектировании различных сооружений и инфраструктурных сетей. Картографические материалы, особенно карты размываемости горных пород, густоты и плотности овражной эрозии, могут быть использованы при застройке территории населенных пунктов, при составлении генеральной схемы комплексных мероприятий по борьбе с эрозией в условиях горных, низкогорных и равнинных территорий. Полученные результаты площадного распространения овражной сети вместе с данными об интенсивности роста оврагов могут быть применены при разработке интегральных планов развития сельскохозяйственных земель в контексте защиты земельных ресурсов, как одного из основных приоритетных направлений устойчивого развития Республики Казахстан.

Все вышесказанное, в конечном итоге, способствует обеспечению рационального использования селитебных и сельскохозяйственных земель, экологического безопасного развития региона и улучшению качества земельных ресурсов.

Основные положения, выносимые на защиту:

1 От сочетания природных и антропогенных факторов зависит возможность возникновения и интенсивность проявления процесса овражной эрозии западной части Жетысу Алатау.

2 Морфометрические характеристики оврагов хорошо отражают оврагообразование, картографирование овражных форм, выявление определенных закономерностей в особенностях морфологии и динамики овражной эрозии.

3 Определение динамики овражной эрозии является одним из индикаторов изменения рельефа и рельефообразующих процессов, имеет большое значение для определения скорости разрушения земель, для обоснованного планирования и проведения противоэрозионных мероприятий, для проектирования инфраструктурных объектов, для оценивания потенциального ущерба от эрозии,

причиняемого сельскому хозяйству и селитебным территориям, решения научных задач геологии, геоморфологии и других наук.

4 Овражная эрозия является одним из активных и деструктивных современных рельефообразующих процессов, ее оценка пораженности территории западного Жетысу Алатау позволяет выделить наиболее опасные участки для дальнейшего рационального использования и защиты земельных ресурсов.

5 Интеграция традиционных методов и инновационных технологий с учетом географических особенностей региона по управлению овражными процессами западной части Жетысу Алатау обеспечивает рациональное использование селитебных и сельскохозяйственных земель, снижая негативные экологические последствия и улучшая меры защиты земельных ресурсов.

Личный вклад автора в решение поставленных задач диссертационного исследования заключается:

- в выборе и закладке мониторинговых участков для изучения овражной эрозии в западной части Жетысу Алатау;

- в организации и проведении полевых наблюдений на ключевых участках: установка реперов для выявления интенсивности овражной эрозии, проведения наземного лазерного сканирования совместно с научными сотрудниками АО «Института географии и водной безопасности» МНВО РК;

- в проведении натурных обследований территории западной части Жетысу Алатау для получения морфологических и морфометрических данных и исследований геолого-геоморфологического строения оврагов и овражной сети совместно с научными сотрудниками АО «Института географии и водной безопасности» МНВО РК;

- в анализе природных и антропогенных факторов, обуславливающих развитие овражной эрозии западной части Жетысу Алатау;

- в разработке и создании серии оценочных тематических карт размываемости горных пород, густоты овражной сети, плотности оврагов, серии карт-схем по динамике овражной эрозии западной части Жетысу Алатау;

- в проведении анализа морфометрических характеристик оврагов и динамики овражной эрозии западной части Жетысу Алатау;

- в проведении качественной и количественной оценки пораженности овражной эрозией западного Жетысу Алатау;

- в разработке научно-обоснованных адаптированных рекомендаций по управлению овражными процессами в западной части Жетысу Алатау;

- в обработке полученных полевых данных и материалов дистанционного зондирования Земли различных лет съемки, подготовке и публикаций полученных научных результатов по тематике проведенного исследования в рейтинговых журналах. Основные положения научных статей отражены в разделах диссертации на соискание ученой степени PhD.

Связь с планом основных научных работ. Частично полевые исследования диссертационной работы выполнены в рамках проекта программно-целевого финансирования МОН РК на 2012-2014 годы под № ГР 0112РК00625: «Географические основы обеспечения безопасности

природопользования горных и равнинных территорий Казахстана».

Апробация работы. Основные результаты и положения данного диссертационного исследования докладывались и обсуждались:

- на Международной конференции «Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий. ИнтерКарто/ИнтерГИС» (2018, Петрозаводск-Россия, Бонн-Германия, Анкоридж-США);

- на III Международной научно-практической конференции «Антропогенная трансформация геопространства: история и современность» (2016, Волгоград, РФ);

- на Международной конференции «Экосистемы Центральной Азии в современных условиях социально-экономического развития» (2015, Улан-Батор, Монголия).

По материалам диссертационного исследования опубликовано 8 печатных работ, в том числе 2 статьи в журналах, входящих в базу Scopus, 3 статьи в республиканских научных журналах из перечня Комитета по контролю в сфере образования и науки МНВО РК, 3 статьи в материалах международных конференций.

Структура диссертации. Диссертация изложена на 200 страницах и состоит из нормативных ссылок, определений, обозначений и сокращений, введения, 5 разделов, заключения и списка использованных источников из 221 наименований, из них 104 на иностранных языках; содержит 4 таблицы, 45 рисунков и 19 приложений.

1 СОВРЕМЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ОВРАГОВ

1.1 Современные представления о развитии овражной эрозии

В условиях высоких предгорий и низкогорий в основе своего происхождения в отложениях лёссовидных суглинков на речных долинах и по местам протекания временных водотоков начинается развиваться овраг, который в конце своей эволюции превращается в сай (балку). Формирование оврагов является одной из значительной составной части эрозионно-аккумулятивных процессов.

Овражная эрозия – один из наиболее интенсивных и распространенных современных рельефообразующих процессов в западной части Жетысу Алатау. Овраги вместе с другими эрозионными формами составляют единую гидрографическую сеть региона, где осуществляется миграция энергии и вещества водными потоками на земной поверхности. Овражная эрозия сопутствует различным видам хозяйственной деятельности и нарушает динамическую устойчивость природных комплексов.

Развитие оврагов привлекает все большее внимание исследователей, фермеров и разных землепользователей. Интерес связан с растущей обеспокоенностью по поводу увеличения площадей возделываемых земель, подвергаемых овражной эрозии. Овражная эрозия на протяжении истории изучения является одним из основных процессов деградации земель и во многих случаях напрямую связана с нерациональным использованием земельных ресурсов. В настоящее время изучение овражной эрозии составляет около 10% исследований эрозии почв, и этот процент расходуется в сельскохозяйственных районах с наихудшей формой деградации почвы [17]. Овраги при бесконтрольном развитии наносят значительный материальный ущерб сельскому хозяйству, населенным пунктам и инженерным коммуникациям. Они представляют собой основной источник образования наносов и угрожают качеству междолинных земель [18]. Развитие оврагов – от зарождения до отмирания – зачастую может полностью уместиться в рамках одного поколения людей. Овраги относятся к наиболее эффективным и динамичным формам рельефа равнинных областей [1].

В научной литературе существуют множество определений оврагов, овражности, овражно-балочной сети и т.д.

Термин "овражная" или "линейная" применяется для обозначения сложного процесса образования и развития линейно вытянутых отрицательных форм рельефа в результате размыва горных пород временными потоками талых и дождевых вод [3, 6, 21, 22].

Овражная эрозия представляет собой сложный рельефообразующий процесс, связанный с образованием и развитием оврагов – крупных отрицательных линейных форм рельефа с крутостенными незадерненными бортами, формирующихся на склоновых водосборах по долинам рек или склонам балок под действием временными русловыми потоками дождевых и

талых вод. Овраг отличается от других линейных эрозионных образований (ложбины, лоцины, рытвины, промоины, балки, саев) тремя основными особенностями: характерными размерами, формой поперечного и продольного профиля и динамическим состоянием. Овраги обычно формируются в легкоразмываемых осадочных породах под воздействием временных потоков талых и дождевых вод. Овражная эрозия может также развиваться на селитебных территориях. Функционирование овражно-балочных систем в населенных пунктах еще недостаточно изучено и, как представляется, изучение процессов, протекающих в них, может принести вполне конкретные практические результаты [23].

Существует множество представлений о том, что понимать под термином «овраг». В словаре Д.А. Тимофеева "Терминология флювиальной геоморфологии" [9] дано 19 определений самого понятия "овраг", а также его 18 синонимов местных и устаревших названий и 51 определение, сопровождающееся прилагательными – большой, активный, коренной и так далее. Определение оврага строится на одной или нескольких группах признаков, как генетических, морфологических, морфометрических и др. Динамика, морфология и морфометрия, внутреннее строение, условия и время возникновения овражных эрозионных форм многообразны. Это вызывает определенное различие в определении параметров оврагов и, соответственно, толкование тех или иных применяемых терминов, что вызывает не только дискуссии, но и порой вводит в заблуждение при описании эрозионных форм рельефа.

В Средней Азии и в Казахстане такие эрозионные формы как лоцины, суходолы, балки иногда и овраги называют другим более распространенным термином «сай». Термин «сай» больше подходит для суходолов и балок, чем понятию – овраг. В казахском языке овраг именуется «жыра».

В англоязычных геоморфологических исследованиях используют три основных термина связанные с овражной эрозией: *rill* – эрозионная борозда или рытвина; *ephemeral gully* – промоина и *gully* – овраг [24]. По морфологическим и морфометрическим параметрам нет точных общепринятых определении этих терминов, но в особенности по термину *gully* (овраг) создаются все новые определения [25-28].

Одним из первых ученых, положившим начало изучению линейной водной эрозии, был Ломоносов М.В. [29], он выделял молодые формы рельефа, образующиеся в результате работы долговременных дождей и ливней. Агроном А.Т. Болотов в статье "Мысль о водороинах", опубликованной в 1781 г., отмечает рост "водороин", возникающих от половодья и паводков [30]. В середине XIX века появляется первая классификация эрозионных форм рельефа. Исследователь В.А. Киприянов [31] впервые выделил стадии развития оврагов и образования их в балки: промоину или рытвину, овраг, балку и речную долину. Представленная схема легла в основу последующих и современных классификаций линейных форм. Леваковский И.Ф. в "Курсе геологии" описывает эволюционный ряд эрозионных форм от бороздки на склоне до балки или суходола, различающихся не только по генезису, но и по возрасту: группа

древних форм – долины и балки (суходолы, лощины), группа более молодых – овраги, рытвины, борозды [32]. Данная схема также послужила основой многих последующих классификаций.

В трудах С.Н. Никитина впервые классифицированы овраги по месту их образования, на разных участках речных долин и балок, где выделены: а) овраги вершинные; б) овраги, развивающиеся по бортам балок и речных долин, урезу или пойме реки; в) вторичные овраги, прорезающие днища балок [33]. В последующем Кизеньков С.Н. объединил первые два типа оврагов [34]. Ученый Козменко А.С. в своих работах первый тип назвал концевыми промоинами, второй – береговыми, третий – донными размывами [35].

Действительно, с этого момента все новые классификации оврагов [3, 36-40] повторяли классификации, разработанные С.Н. Никитиным, С.Н. Кизеньковым, А.С. Козменко, но в несколько ином толковании. В овраговедении более 100 лет используются термины – первичный, вторичный (донный), береговой, склоновый овраг. Представляется, что такое определение оврагов с одной стороны, говорит об их положении в рельефе, и с другой – относительных размерах и их морфологии.

Вместе с тем сразу же возникают вопросы, по определению, что есть первичный овраг, как определить его "первичность". В словаре Д.А. Тимофеева [9] дано определение понятия: "Овраг первичный – овраг, прокладывающий новый путь, впервые прорезающий поверхность склона, уступ террасы или поверхность, прилегающего к склону плато или террасы. Овраги первичные объединяют вершинные и береговые овраги, выделенные С.Н. Никитиным [41] и С. Кизеньковым [3, 34]". Однако, с другой стороны, в естественных условиях овражный водосбор часто наследует водосбор ложбины. Овраг растет по ее тальвегу, но, по мнению ученых Кесь А.С. [10], Занина Г.В. [42], Лидова В.П. [43], Бутакова Г.П. и др. [44], Милькова Ф.Н. [45], Солонько В.В. [46], Еременко Е.А. и Панина А.В. [47] – ложбины сами по себе имеют водно-эрозионное происхождение.

По определению словаря Д.А. Тимофеева, вторичные или донные овраги образуются в днище балок, суходолов и не выходят за их вершину [9]. В днищах балок или в реликтах древней эрозионной сети могут формироваться вторичные или донные овраги. Донные овраги обычно проходят и растут по неровностям продольного профиля балок, при малых углах наклона, но характеризуются значительной водосборной площадью.

Оврагов, которые не выходящие бровку склона называют береговыми оврагами. Бровка террасы или долины – это линия сочленения их склона с поверхностью террасы [9] и, в случае долины, "с поверхностью прилегающей местности" [48]. Обычно береговые овраги развиваются на более круто наклонных поверхностях склонов, чем донные овраги.

По данным Е.Ф. Зориной, при средних характеристиках склонов речных долин и балок длина склона оказывается равной 70-100 м, то есть, овраги длиной менее 70 м подпадают под понятие "береговой", поскольку располагаются, собственно, на склоне (борту) балки или лощины. Овраги длиной более 70-100 м

– "склоновые". При этом для оврагов на монотонно выпуклом склоне нет необходимости искать бровку склона для определения их типа [2].

Образование оврагов проходит закономерно через несколько стадий. В инженерной геологии была принята схема С.С. Соболева. В соответствии с этой схемой образование оврага происходит в четыре стадии, в результате которых вырабатывается его продольный профиль.

Первая стадия – формирование промоины глубиной от 30–50 см до 1,0–1,5 м. Поперечный профиль промоины меняется от треугольного до трапецевидного.

Вторая стадия – врезание висячего растущего оврага своей вершиной. Оно начинается с очередного обрыва, высота которого составляет в среднем 2–10 м. Рост оврага идет снизу вверх, т.е. против течения водного потока по его дну. Устье оврага находится выше местного базиса эрозии. Глубина оврага на этой стадии достигает 10–30 м. На этой стадии происходят разветвление оврагов (формирование отвершков) и создание овражной системы.

Третья стадия – выработка профиля равновесия, началом которой является момент достижения устьем оврага отметки местного базиса эрозии. Во время этой стадии продольный профиль оврага приобретает вид плавной кривой. Глубина оврага на этой стадии может достигать 20–30 м. Его склоны начинают постепенно сглаживаться и покрываться растительностью.

Четвертая стадия является завершающей. Она начинается после окончательной выработки продольного профиля равновесия, при этом углубление оврага и его рост прекращаются. Наблюдаются расширение его дна и формирование овражного аллювия. Склоны оврага покрываются делювиальными образованиями, осыпями, а на их поверхности формируются почва и растительный покров. В таком виде овраг уже называется балкой [3]. Разработанная С.С. Соболевым схема стадийности развития оврагов широко используется в целях прогноза в различных природных условиях и районах.

Таким образом, можно сделать вывод, что овраг – активная эрозионная форма. В овраге наиболее подвижной частью является его вершина, которая в результате регрессивной (пятащейся) эрозии может выйти за пределы склона. В связи с этим многие овраги характеризуются значительной длиной, исчисляемой сотнями метров и даже километрами.

В работах Ковалева С.Н. показывает последовательность верхних звеньев флювиальной сети ручейковая сеть → рытвина → промоина → враг → балка → долина – это генетическая последовательность преобразования плоскостного (пластового) стока, не имеющего четких геоморфологических границ, в русловой с формированием постоянной долины [49].

Интенсивность процесса овражной эрозии имеет важную роль при оврагообразовании. По интенсивности линейного роста В.П. Лидов и Е.М. Николаевская [50] разделяют овраги на 3 группы: слаборастущие (0,5 м/год), среднерастущие (0,5–2,0 м/год) и сильнорастущие (>2,0 м/год).

На развитие овражной эрозии оказывают влияние современные рельефообразующие процессы – оползни, суффозия, солифлюкция, абразия, карст, боковая речная эрозия и т.п., а иногда современные тектонические

процессы. Наряду с природными факторами неправильная хозяйственная деятельность человека приводит к интенсивному развитию овражной эрозии в Жетысу. Возраст современных антропогенных оврагов в условиях Средней Азии составляет примерно 2500 лет. Видимо на заре развития земледелия овраги не имели широкого распространения, но с развитием орудья труда, технологии обработки земли и освоением склоновых участков интенсивность овражной эрозии начала увеличиваться.

Даже самый поверхностный обзор овражных эрозионных форм говорит об их огромном разнообразии. В настоящее время интерес к овражной эрозии возрастает в основном в связи с экологической опасностью природно-антропогенных процессов в контексте появления рисков и возникновения неблагоприятных ситуаций при развитии этих процессов. Овражная эрозия – антропогенное и природное бедствие, наносящее значительные ущерб сельскому хозяйству, дорожной сети и объектам инфраструктуры. Развитие овражной эрозии уменьшает площадь земель, пригодных для земледелия. В разных регионах известно достаточных примеров превращения ранее богатых пахотных земель в непригодные для земледелия, разрушенные оврагами площади. Скорость овражной эрозии динамичная. Овражная эрозия может быть спровоцирована хозяйственной деятельностью человека, интенсивной распаханностью, неправильными севооборотами, неумеренным выпасом скота и неправильной установкой дренажных элементов. Кроме того, нередко овраги зарождаются на склонах, по колеям грунтовых дорог, при пожарах, уничтожающих растительный покров склонов.

Несмотря на большое разнообразие понятий овражной эрозии, связанные с геологическим разнообразием, геоморфологической позицией территории развития овражно-балочной и саевой систем, а также ономастическими особенностями в целом все упомянутые выше терминистические определения дают представления о их сущности. Они основываются в большинстве случаев на морфогенетических характеристиках овражных процессов. Также в изучении оврагов следует осторожно пользоваться терминологией и более обосновано подходить к описанию оврагов, особенно их морфологии.

1.2 Классификация оврагов

Овражная эрозия в порядке эрозионных процессов занимает промежуточное положение между поверхностным смывом и русловой эрозией. В научной литературе существует многочисленные классификации оврагов, применимые как для теоретических, так и для практических задач. Классификация оврагов проводится по следующим признакам – по расположению в рельефе, по типам процессов, происходящих на оврагах, по морфометрическим и морфодинамическим показателям, по стадиям развития, по интенсивности размыва, по размерам водосборной площади, по горным породам и т.д. Вместе с тем, до настоящего времени в научной литературе отсутствуют общепринятые классификации и терминология для обозначения линейных форм верхних звеньев эрозионной сети, в частности, оврагов. Это во многих случаях затрудняет

понимание сути и сравнение результатов исследований, выполненных в различных регионах. Проблема классификации оврагов имеет большое теоретическое и практическое значение и привлекает себе внимание исследователей. Можно отметить, что по сегодняшнее время было предложено несколько десятков различных классификации оврагов.

Российские исследователи Зорина Е.Ф. и др. классифицируют овраги по следующим основным признакам: по происхождению, по месту развития (типу водосбора), по стадии развития [51]. Они по происхождению оврагов подразделяют на естественные и антропогенные.

По морфологическим характеристикам и по месту расположения оврага в рельефе А.С. Козьменко выделяет современные овраги на следующие виды: донные, береговые, склоновые, отвершковы, боковые, концевые и подмыв берега [52]. Схожая классификация оврагов у Б.Ф. Косова, который выделяет три типа: донные, склоновые и овражные системы [1, стр. 13-25]. В настоящее время эти схожие классификации оврагов, довольно распространенные на постсоветском пространстве, так как они отражают положение в рельефе, генетические признаки и морфологию оврага.

Морфометрические характеристики оврага отделяют его от других эрозионных форм, а также классифицируют овраги на группы. Так, в Австралии и Индии овраги выделяют сразу по двум характеристикам – по глубине и ширине:

- 1) глубина менее 3 м;
- 2) глубина от 3 до 9 м и ширина от 3 до 9 м;
- 3) более широкие и глубокие.

В США по глубине оврагов выделяют:

- 1) мелкие до 2,5 м;
- 2) средние 2,5 – 4,5 м;
- 3) глубокие > 4,5 м.

Для оценки овражной эрозии имеет важное значение и интенсивность самого процесса. По интенсивности линейного роста оврагов разделяют на 3 группы: слаборастущие (0,5 м/год), среднерастущие (0,5-2,0 м/год) и сильнорастущие (> 2,0 м/год) [50].

По активности развития овраги подразделяются на активные, слабоактивные, скрытого развития и активизирующиеся. К активным оврагам относятся такие, которые в привершинной части имеют крутые обнаженные склоны, а в приустьевой - задернованные. Слабоактивные (полуздернованные) овраги характеризуются более пологими склонами и незначительным годовым приростом в длину. Склоны активизирующихся оврагов полностью задернованы или полуздернованы и лишь в приустьевой части обнажены, что указывает на оживление процессов эрозии.

На основе анализа значительного числа исследований овражной эрозии можно прийти к заключению, что в качестве критериев классификаций оврагов использовались множество различных свойств оврагов и взаимосвязанных процессов. Таким образом, классификации овражной эрозии могут быть различными: генетический, морфологический, по месту развития, по литологии,

по морфометрическим показателям, по форме продольного и поперечного профиля, по форме в плане, по типам ветвления, по конфигурации, по отдельным показателям, по стадии развития, по активности развития, по факторам влияния, по сопутствующим процессам, по динамике роста, по опасности, по характеру вершин и устьевых частей, по возрасту, по противоэрозионным мероприятиям, по размеру водосборной площади, по гидрологическим признакам и т.д.

Интерес к классификации оврагов объясняется не только потребностью упорядочить знания и структурировать теоретические положения в исследованиях овражной эрозии, но и необходимостью использования разработок в конкретных прикладных задачах. Следует отметить, что большинство классификаций разрабатывалось для определенных задач и конкретных территорий. Поэтому при изучении овражной эрозии в пределах той или иной местности их необходимо дополнять или уточнять. Проблема же единой классификации оврагов в связи с их зональной спецификой и другими факторами остается открытой.

1.2.1 Классификация оврагов по генезису

Основателем классификации по генезису эрозионных форм считается В.В. Докучаев, который впервые разработал теорию развития оврагов. В.В. Докучаев открыл известный эволюционный ряд: овраг – балка – речная долина и рассматривал овраг как саморазвивающуюся эрозионную форму рельефа [53].

Овраги также классифицируют по происхождению на естественные, природно-антропогенные и антропогенные. Естественные овраги возникают в периоды интенсивных паводков, обильных осадков, в результате тектонических движений, под давлением размыва речных берегов и т.д. В настоящее время естественные овраги формировались и формируется на водосборах значительной площади, где концентрируются потоки со скоростями, достаточными для размыва почвенного покрова, защищенного естественной растительностью. Естественные овраги встречаются на крутых склонах гор и предгорье, в днищах временных водотоков (лощин, балок), на долинах рек, на участках сплывов, селей и оползней.

Природно-антропогенные овраги связаны с хозяйственной деятельности человека. На формирование природно-антропогенных оврагов влияет наряду с природными факторами и антропогенные факторы, такие как распашка земель, выпас скота, прокладка наземных и подземных линейных сооружений, строительство зданий и сооружений, при которых нарушается или уменьшается естественный растительный и почвенный покров, а также изменяется условий стока поверхностных и подземных вод. Для примера можно привести примеры эрозионных форм размыва (промоины и овраги) по полотну и кюветам грунтовых дорог (рисунок 1.1), пахотным бороздам.



Рисунок 1.1 – Эрозионные формы размыва по полотну и кюветам грунтовых дорог на хребте Малайсары

Антропогенные овраги – формы, образование которых вызвано антропогенным вмешательством в естественные ландшафты. Антропогенные овраги делятся на две большие группы: сельскохозяйственные и техногенные.

В большинстве случаев антропогенные овраги наблюдаются в районах древнего земледелия, животноводства, строительства, добывающей промышленности и при создании инфраструктурных объектов. В наибольшей степени способствует образованию оврагов распашка, приводящая к сплошному уничтожению естественной растительности, периодическому рыхлению почвы, разделению склоновых участков искусственными рубежами на отдельные водосборы, т.е. созданию ложбин стока. На землях, где проводятся регулярная распашка и другие сельскохозяйственные работы с расширением площади пашни, за счет крутосклонов создаются благоприятные условия для возникновения сети оврагов, к этой категории относятся ирригационные овраги. Вдоль автомобильных дорог образуются антропогенные овраги (рисунок 1.2), из-за неправильного использования водоотводных и дренажных систем происходит перераспределение стока воды от склонов. От прорыва дамб и от сброса сточных вод также появляются антропогенные овраги. На промышленных территориях и в населенных пунктах количество оврагов гораздо меньше, чем на сельскохозяйственных угодьях.



Рисунок 1.2 – Образование оврагов вдоль автодороги Сарыюзек-Жаркент в 1 км восточнее с. Сарыюзек

К основным факторам формирования оврагов в черте населенных пунктов можно отнести: планирование территории, инфраструктурно-коммуникационные, эксплуатационные. Степень их влияния на развитие овражной эрозии изменяется в обусловленности от антропогенной нагрузки и имеют обратную связь. В пределах Жетысу имеются овраги, которые формируются на территориях населенных пунктов как Боролдай и Сарыозек (рисунок 1.3).

Влияние овражной эрозии на населенные пункты, вызванное нерациональным использованием овражно-саевых систем или недооценкой потенциала их роста, сказывается в сокращении полезных территории, создании угрозы объектам инфраструктуры и безопасности передвижения людей. Овраги становятся накопителями различных загрязняющих веществ, что в итоге приводит к общему ухудшению экологической ситуации.



Рисунок 1.3 – Селитебные овраги в с. Сарыозек

Ученый из Средней Азии А.Н. Нигматов разделяет основные виды антропогенной овражной эрозии [16] на следующие:

- сельскохозяйственная на пашне (на богаре);
- ирригационная (на полях орошения);
- пастбищная;
- абразионно-эрозионная по берегам водохранилищ;
- дорожная;
- поселковая и промышленная (при сбросе промышленных и бытовых стоков);
- на горных разработках и карьерах;
- при вырубке лесов.

Российские исследователи Зорина Е.Ф. и др. [51] по виду и степени антропогенной нагрузки выделяют три крупные группы:

1) овраги, местом образования которых являются естественные природные водосборы, процесс линейной эрозии на которых начинается при нарушении естественного природного комплекса – распашке, сведении естественного растительного покрова, усиленном обводнении территории и т.п.

2) овраги, образование которых связано с искусственно сформированными концентраторами стока (при относительно малых водосборах, не способных в обычных условиях создать необходимые объемы стока воды) путем создания новых линий стока – разъемными бороздами на пашне, скотопрогонными тропами, межеванием. Сюда же относятся дорожные овраги, разрушающие кюветы и полотно дорог, т.е. это овраги, сформировавшиеся на искусственных водосборах под действием атмосферных осадков.

3) техногенные овраги, образование которых происходит под действием стока промышленных вод при добыче ископаемых, строительных работах, сбросных вод разного рода предприятий.

Овраги степных равнин Нижнего Дона П.Ф. Молодкин [54] подразделяет на природные, антропогенные, природно-антропогенные и биогенные. Среди антропогенных он выделяет овраги орошаемых земель, склонов прудов и водохранилищ, бортов открытых горных выработок и др.

Генетический подход предлагается другими авторами [4, 5]. Так ими по происхождению выделяются две основные группы: естественные и антропогенные овраги. В свою очередь, антропогенные подразделяются на дорожные, ирригационные, пастбищные и др.

Казахстанский ученый М.Ж. Жандаев в своих исследованиях предлагает несколько иной подход классификации оврагов по генезису. Он дает классификацию оврагов по морфогенетическим признакам, рассматривая эрозионные процессы по характеристикам геоморфологического и геологического строения территории, которые определяют формы и генезис оврагов. Выделяет три генетические типы оврагов: дорожные, ирригационные и естественные [13].

Овраги, развивающиеся в лессовых породах, по генезису подразделяются на просадочно-суффозионно-эрозионные, просадочно-эрозионные и эрозионные. Овраги, образованные в глинистых породах – на эрозионно-оползневые и эрозионные, в мелах и опоках – на коррозионно-эрозионные и эрозионные.

В результате многочисленных полевых исследований на территории Жетысу установлено, что разнообразие овражных форм в основном связано литологическими свойствами слагающих пород, климатом района, рельефом местности, нерациональным отношением к земельным ресурсам. Из этого следует, что генезис овражных форм рельефа обуславливается сочетанием природных и антропогенных факторов.

1.2.2 Классификация оврагов по месту развития

Разработка классификаций оврагов для различных задач усложняет возможности выработать единый, универсальный подход. Довольно логичной является классификация оврагов, основанная на таком критерии, как местоположение линейных эрозионных форм, так как по месту развития овраги имеют четко выраженные различия. Овраги по месту развития могут быть вершинными, склоновыми, береговыми и донными.

Вершинные овраги развиваются в верхних частях древних эрозионных форм как ложбины, лощина, саи, балка и суходол. Формирование вершинных оврагов происходит в результате аномальных атмосферных осадков и сбросов поверхностных вод в вершины древних эрозионных форм. Важную роль в развитии оврагов вершинного типа играют крутизна склона и литологические свойства слагающей породы. Со временем вершинные овраги могут быть поглощены донным оврагом всей исходной формы и выходом его вершин на водораздельный склон.

Береговые овраги формируются на склонах лощин, балок, саи, речных террас и долин. Береговые овраги еще называют боковыми и первичными оврагами. К первичным относятся овраги, впервые прорезающие новые поверхности земли, т.е. склоны лощин, саи, балок и речных долин. Сосредоточенный сток воды, двигаясь по искусственным и естественным ложбинам на склонах водосбора какого-либо элемента гидрографической сети (балки и др.), образует первичные овраги. Это вода, устремляясь по такой ложбине вниз по склону, прорывается к берегу балки или долины реки и размывает его, где начинает свой рост первичный овраг. Береговые или первичные овраги нередко продвигаются выше гидрографической сети и разрушают склоны. Характерной особенностью развития береговых оврагов является их приуроченность к речным эрозионным уступам или крутым коренным склонам долин. Эти овраги из-за размыва краев балок или долины реки называют еще береговыми. Береговые овраги в дальнейшем по степени своего роста внедряются в прилегающий склон водосбора, по этой причине их называют ещё склоновыми. По характеру развития данных оврагов следует также называть первичными склоновыми оврагами. Склоновые овраги развиваются на склонах долинно-балочной сети. Они имеют на своей вершинной части стокоподводящую ложбину. Длина склоновых оврагов в зависимости от площади водосбора может достигать несколько сотен метров.

Развитие оврагов на склоновом водосборе, особенно после его выхода за бровку склона на приводораздельное пространство, нарушает стандартные приемы обработки полей. В результате выведенные из сельскохозяйственного оборота площади пашни в 3-5 раз превышают площади самих оврагов, что также должно учитываться при определении ущерба от овражной эрозии на землях сельскохозяйственного фонда [55].

По месту развития в днищах ложбин и балок и других ранее существовавших эрозионных форм образуются донные овраги. Они развиваются по днищам ранее существовавших эрозионных форм, расширяя образовавшие промоины при небольших углах наклона, при этом характеризуются значительной водосборной площадью. Донные овраги разрушают днище и склоны материнской формы. Обычно продольный профиль оврага повторяет присущий профиль материнской формы.

Геолог учёный С.Н. Никитин (1895) предложил первую классификацию оврагов по местоположению в рельефе, где он выделил три основных типа оврагов: вершинные, береговые, вторичные [41, стр. 114]. В классификации оврагов С.В. Кизенькова (1902) выделяются два типов оврагов: первичные и

вторичные [34, стр. 147-149]. По местоположению в рельефе известен ряд других классификаций: Масальский (1897); Мушкетов (1926); Козьменко (1937); Соболев (1948); Рожков (1970). [36, стр. 52-64], [38, стр. 52-64], [56], [3], [57]. Большинство из предложенных классификации оврагов базируется на историко-морфологическом подходе.

Для прогноза и геоморфологического анализа важны классификация оврагов по приуроченности к различным элементам рельефа. Так, А.С. Козменко предложил классификацию: береговые, вершинные и донные размывы [58]. В классификации В.П. Лидова [59] и др. современные овражные формирования подразделяют на склоновые и донные формы. Также автор А.Г. Рожков [12] выделяет склоновые, донные и овражные системы. В настоящее время часто склоновые овраги отделяют от береговых.

По месту развития оврагов исследователи Зорина Е.Ф. и др. выделяют на две группы:

1) Овраги, формирующиеся на склоновых водосборах, где продольные уклоны тальвега водосбора намного превышают уклоны к основной ложбине стока (поперечного профиля). Эти овраги начинают развитие на склоне в то время, когда формирующийся эрозионный врез дренирует незначительную часть склонового водосбора. Нарастание расхода в линейной форме проходит, как правило, до периода прорыва бровки склона и выхода на участки, продольные и поперечные уклоны которых сопоставимы между собой. В процессе дальнейшего развития овраг формирует морфометрию своего водосбора, увеличивая поперечные уклоны склона, образуя отвершки. В момент прорыва бровки склона вершина оврага практически становится замыкающим створом склонового водосбора. В дальнейшем линейный врез дренирует до 80% склонового стока.

2) Овраги, развивающиеся в морфометрически отчетливо выраженных линейных формах водосбора (балки, ложбины, суходолы и т.д.). Они используют водосборы ранее образованной эрозионной формы. С момента своего возникновения, благодаря преобладанию поперечных уклонов, дренируют 70-80% стока с площади водосбора, прилегающей к вершинному створу. Средние скорости роста таких оврагов обычно выше средних скоростей линейного роста оврагов первого типа, имеют меньшую изменчивость, что обусловлено также особенностями морфометрии водосборов [51].

Выделяются равнинные и горные овраги [60]. Овраги горных районов подразделяются на собственно горные и полугорные. Первые характерны для крутых склонов и днищ сухих долин с маломощным грубообломочным чехлом рыхлых отложений, на скальных кристаллических породах. На рисунке 1.4 представлены горные овраги в горах Жетысу Алатау. Овраги, врезанные в сравнительно мощный чехол рыхлых отложений, относятся к полугорным. Отличие полугорных от горных оврагов – наличие вертикального уступа тальвега в верховьях.



а)



б)

Рисунок 1.4 – Овражная эрозия на горном склоне в западной части гор Жетысу Алатау: а) промоина, б) овраг

Овраги по месту развития в западной части Жетысу Алатау встречаются вдоль уступов речных террас, в речных долинах, на равнинах, на предгорных равнинах, на склонах низкогорий, на склонах среднегорий, на склонах высокогорий. Овражная эрозия в Жетысу Алатау является частью рельефообразующего процесса, который формирует новые звенья эрозионной сети, обуславливает сток на водосборах рек, саев и суходолов. Для применения результативных противоэрозионных мероприятия в первую очередь необходимо установить расположение оврагов в рельефе и после чего применять их. В условиях западной части Жетысу Алатау овраги по местоположению в рельефе можно выделить на три типа: склоновые, донные и переходные.

1.2.3 Классификация оврагов по стадии развития

Одним из представлений классификации оврагов является выделение определенных стадий их развития. Кроме геоморфологических моделей развития оврагов и овражных систем в балки и речные долины в порядке «овраг-балка-долина», предлагаются противоположные схемы [6, 61], «овраг-балка-овраг» и «лощина-ложбина-овраг-балка» [52].

В изучении и прогнозировании овражной эрозии важное значение имеет на какой стадии развития находится овраг. Наиболее распространённая классификация С.С. Соболева [3] выделяет 4 стадии развития оврага: промоины, врезания висячего оврага вершиной, выработки оврагом профиля равновесия и затухания или постепенного перехода оврага в балку.

На базе экспериментальных лабораторных исследований Косов Б.Ф. и др. [62] выделяют пять стадий временного развития оврагов: 1) максимальный рост длины и объема оврага (до 70% своих предельных размеров); 2) очень короткий по времени (2% времени выработки продольного профиля) период – это самая активная фаза развития; 3) скорость линейного роста приближается к средней, где длина оврага набирает 95% предельной возможности роста (при этом продолжается усиленный рост в объеме от 15 до 50%); 4) скорость линейного

роста ниже средней, длина оврага приближается к пределу, скорость объемного роста ближе к средней, объем оврага до 75% от предела роста; 5) самый продолжительный по времени стадия (до 50%), при котором линейный прирост практически заканчивается, но при этом объем продолжает слабо увеличиваться.

Исследователи Зорина Е.Ф. и др. [51] более детально выделяют 5 стадии развития оврага: *I стадия* оврага – зарождение на крутом участке склона, характеризуется разрывами дернины, постепенной концентрацией склонового потока в едином русле, выработкой ложа склонового потока, его углублением, увеличением расхода потока и его скорости; *II стадия* – период наиболее активного роста практически всех параметров оврага, особенно его длины и глубины. Продолжительность периода составляет около 10-15% общего времени оврагообразования, когда длина оврага вырабатывается на 70-80%, а объем – на 40%; *III стадия* характеризуется практической выработкой полной длины оврага 60-80% его объема. Эта стадия завершает наиболее активный период, занимающий около 40% общего времени развития оврага; *IV стадия* соответствует, при близком к постоянному среднему уклону, выработке профиля "равновесия", чередованию по длине оврага участков эрозии и аккумуляции. Это этап длительного, медленного и относительно спокойного развития, занимающий около 60% общего времени оврагообразования; *V стадия* – овражная форма достигает своих предельных размеров; в зависимости от климатических, геолого-почвенных и гидрологических условий овраг определенный период сохраняет признаки активной формы. Параметры оврага на завершающей стадии развития являются функцией комплекса природных характеристик регионов.

Казахстанский исследователь Ульман А.А. предлагает в классификации оврагов в предгорьях Иле Алатау несколько иной и более комплексный подход. Предлагаемая Ульманом А.А. классификация овражной сети основывается на учете пространственно-временной изменчивости и доминирующих процессах формирования эрозионных ложбин. Основными категориями классификации являются: направленность процесса эрозии; продолжительность развития (стадийность); морфометрические показатели; преобладающий процесс формирования. Таксономическими единицами классификации взяты класс, тип и подтип, которые представлены в Приложении А [15].

Предложенные стадии временного развития оврагов актуальны при практических задачах по определению интенсивности развития овражной эрозии для проектирования мероприятий по борьбе с оврагами. Однако на каждый местный случай развития оврага необходимо учитывать локальные факторы оврагообразования.

В основном в разработанных классификациях оврагов для исследования и анализа изучались характерные склоновые овраги. В этих классификациях оврагов по стадии развития отсутствуют стадии промоины и рытвины, так как не все промоины и рытвины в последствии превращаются в овраг. Из этого следует, что не каждый склоновый водосбор является оврагообразующим.

Оценка стадии развития и других параметров овражно-саевых систем в западной части Жетысу Алатау играет важную роль при составлении планов

рекреационного развития территорий, при строительстве инфраструктурных объектов и при развитии сельскохозяйственных угодий. Анализ современного состояния оврагообразовательного процесса в западной части Жетысу Алатау, его затухания или возможной активизации в зависимости от типа и уровня антропогенной нагрузки позволяет определить место овражной эрозии в ряду других неблагоприятных природно-антропогенных процессов и предложить районирование территории региона по степени опасности, а также определить риск ее развития с учетом особенностей современного развития распространения оврагов.

1.2.4 Классификация оврагов по морфометрии

В исследованиях овражной эрозии существуют многочисленные классификации оврагов по морфометрическим признакам, где в одну классификационную группу объединяют несколько морфометрических показателей. На наш взгляд такие классификации оврагов непоказательны и непрактичны. Как установлено, овраг может в устьевой части иметь наименьшую глубину и ширину, в средней части увеличиться в разы и в вершинной части глубина может быть наибольшей, т.е. морфометрические показатели варьируются в широких пределах. По этой причине овраги нельзя объединять в одну группу по ряду морфометрических показателей, что не соответствует природным условиям.

Овраги по форме в плане С.С. Соболев (1948) и Н.С. Победов (1974) подразделяют на следующие виды: ромбовидные, яйцевидные, четковидные, булавовидные и др. По их форме обычно судят о строении склонов [3, 63]. Например, четковидные овраги формируются на сложных поверхностях ступенчатого профиля, где чередуются рыхлые и плотные горные породы. Яйцевидные овраги, как правило, развиваются на выпукло-вогнутых склонах.

В своих работах по морфометрическим показателям Жандаев М.Ж. выделяет четыре морфологических типов оврагов: грушевидный, ущелевидный, плоскодонный и карнизный. Классификация Жандаева М.Ж. основана на учете морфографических и морфометрических показателей продольного и поперечного профиля оврагов [13]. Грушевидные овраги имеют нестандартную форму, а именно головные части их немного шире средней части, вершины представляют собой отвесные стенки, у основания которых ниже дна находятся колодцеобразные углубления (ниши). Эти овраги на схемах в плане имеют грушевидную форму (Приложение Б.1). Распространение грушевидных оврагов более характерны в лёссовых породах значительной мощности (десятки метров), имеют длину 20-150 м, ширину 5-30 м, глубины до 10 м в основном в верхней части.

В лёссовых породах вода, просачиваясь в грунт, уносит водорастворимые соли и создает подземный сток, лёсс насыщается влагой, уплотняется и оседает. Морфометрические показатели грушевидных оврагов зависят от мощности лёссовой породы и глубины залегания водоносного горизонта. Следовательно, грушевидные овраги образуются в результате эрозионно-суффозионных

процессов (Приложение Б.2). Грушевидные овраги формируются на подгорных равнинах и за пределами конусов выноса горных рек. Кроме того, они наблюдаются и в других районах, где есть значительный лессовидный покров, например на прилавках Жетысу и Иле Алатау. Активное формирование грушевидных оврагов наблюдается во время интенсивных осадков и период таяния снега.

К одним из крупных по размерам оврагов в западной части Жетысу Алатау относятся ущельевидные овраги или сай. Эти овраги имеют длину от сотни метров до нескольких километров, глубину до 35 м и ширину до 50 м и иногда встречаются и большие размеры. Формы оврагов больше симметричные, склоны ущельевидных оврагов в верхних частях более вертикальные, внизу более пологие, по бортам имеют боковые ответвления, и на вид напоминает каньон или сай (рисунок 1.5).



а)



б)

Рисунок 1.5 – Ущельевидные овраги: а) в долине р. Текели;
б) в долине р. Мукур

Образованию ущельевидных оврагов способствуют глубокий размыв валунно-галечниковой толщи в полосе конусов выноса, значительная крутизна склонов, сложный рельеф и нерациональное хозяйственное использование земель. В пределах Жетысу эти овраги встречаются на склонах речных долин рек Аксай, Каскелен, Улкен Алматы, Талгар, Есик, Турген, Шелек, Текели, Мукур и на долинах других рек региона. Ущельевидные овраги формируются довольно интенсивно в подгорной равнине Иле и Жетысу Алатау. Борьба с этими оврагами сложная и экономически затратная.

Выводы по 1 разделу:

Овражная эрозия – один из наиболее динамичных и распространенных современных рельефообразующих процессов в западной части Жетысу Алатау. В результате деятельности овражной эрозии формируются овраги – крупные отрицательные линейные формы рельефа. Формирование оврагов является одной из значительной составной части эрозионно-аккумулятивных процессов и проходит закономерно через 4 стадий: промоины, врезание висячего растущего

оврага своей вершиной, выработка профиля равновесия, завершающей, где он превращается в сай.

Овражная эрозия в порядке эрозионных процессов занимает промежуточное положение между поверхностным смывом и русловой эрозией. На основе анализа значительного числа исследований овражной эрозии можно прийти к заключению, что в качестве критериев классификаций оврагов использовалось множество различных свойств оврагов и взаимосвязанных процессов. Нами выделены и развернуто описаны основные классификации оврагов по следующим важным характеристикам: генезису, месту развития, стадии развития, морфометрии. Вместе с тем, до настоящего времени в научной литературе отсутствуют общепринятые классификации и терминология для обозначения линейных форм верхних звеньев эрозионной сети, в частности, оврагов. Это во многих случаях затрудняет понимание сути и сравнение результатов исследований, выполненных в различных регионах. Проблема классификации оврагов имеет большое теоретическое и практическое значение и привлекает себе внимание исследователей.

Процессы овражной эрозии в пределах западной части Жетысу Алатау требуют более углубленного и масштабного изучения, так как недостаточны сведения о характере и динамики оврагообразования в различных ландшафтах и физико-географических условиях в этом сельскохозяйственно развитом регионе страны. Важно отметить, что ранее по изучению овражной эрозии в пределах Жетысу занимались М.Ж. Жандаев, Ульман А.А. и Калмынкина Е.М. [13, 64-66, 15, 67], которыми установлено, что морфометрия поперечного и продольного профиля определяется в первую очередь литологическим составом четвертичных отложений, на которой развивается овражная эрозия. Территория исследования характеризуется большим разнообразием грунта как по генезису, так и по механическому составу, один и тот же овраг на различных участках может иметь различную морфометрию. При наблюдении динамики оврагов в различных физико-географических условиях поперечный и продольный профили кардинальным образом изменяются с течением времени. На последних стадиях своего развития овраги вырабатывают профиль "равновесия", уменьшается эрозионный потенциал, после чего в результате склоновых процессов выполаживаются борта эрозионных ложбин. Овраги в этой стадии развития могут менять морфографические и морфометрические характеристики.

Показателем, определяющим эрозионную опасность той или иной территории, является динамическая характеристика линейных эрозионных форм. Исследования в пределах западной части Жетысу Алатау показывают, что существующие на данный момент классификации не полностью охватывают все многочисленные типы оврагов, встречающиеся в пределах исследуемой территории. Актуальность требований к изучению овражной эрозии связана со все возрастающей ценностью сельскохозяйственных земель и инфраструктурных объектов, разрушаемых при развитии оврагов.

2 ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ, ОБУСЛАВЛИВАЮЩИЕ РАЗВИТИЕ ОВРАЖНОЙ ЭРОЗИИ

2.1 Геолого-геоморфологические факторы

2.1.1 Геологические факторы

Влияние геологических факторов на развитие эрозионных процессов предопределяется историей геологического развития и тектоническими режимами формирования геологических тел, определяющими возраст, генезис, состав, структуру, текстуру, мощность и метаморфизм горных пород, характер складчатых и дизъюнктивных структур, трещиноватость скальных массивов, характер осадконакопления и степень уплотнения рыхлых отложений. Геологические особенности территории являются одним из основных факторов формирования оврагов. Многие исследователи определяют геологические факторы как потенциальную возможность развития овражной эрозии, так и современную динамику эрозии и заовраженность территории [2, 7, 21, 68-72].

Хребет Жетысу Алатау отличается сложным геологическим строением и обусловлен мощными тектоническими импульсами, проявившимися в период от докембрия до современной эпохи. Исследуемая территория относится к области интенсивного горообразования в зонах докембрийской и палеозойской складчатости, следовательно, геолого-структурные условия приобретают первостепенное значение при изучении причин возникновения и развития эрозионных процессов.

Жетысу Алатау приурочен к крупным глыбовым поднятиям, представляющим собой сложную систему ступенчатых горстов – блоков с максимальной амплитудой поднятий в новейший орогенический этап до 3000 м.

Современный рельеф Жетысу Алатау образовался в результате интенсивного проявления новейших тектонических движений и в настоящее время продолжается рост горного массива. В западных отрогах Жетысу Алатау он сопровождается землетрясениями, новейшими тектоническими смещениями и погружением обломочного материала, выносимого реками.

На исследуемой территории Жетысу Алатау встречаются допалеозойские образования, разновозрастные интрузии и эффузивы различного петрохимического состава, генетически неоднородные отложения нескольких периодов палеозойской эры, мезозоя и кайнозоя.

В региональном плане рассматриваемая часть Жетысу Алатау относится к двум структурно-геологическим областям орогенного пояса Казахстанской складчатой страны, выходящих далеко за пределы описываемой территории. Это области неустойчивой каледонской консолидации и остаточной Джунгаро-Балхашской геосинклинали, консолидировавшейся в герцинскую эпоху складчатости [73]. В строении эпигерцинского фундамента участвуют породы нижнего палеозоя, силурийской, каменноугольной и пермской систем, а также нижнего триаса. Широко развиты герцинские интрузии. Наибольшие площади в северной Жетысу Алатау занимают морские отложения девона и карбона, а в

южной – вулканогенные каменноугольные и пермские образования. Нижнепалеозойские отложения и каледонские интрузии распространены относительно слабо.

Альпийские тектонические движения на описываемой территории проявились в орогенной форме, разбив ранее консолидированную эпигерцинскую платформу на отдельные блоки. На участках межгорных и предгорных прогибов накапливались молассовые отложения кайнозоя. Мезозойские породы развиты в основании наиболее погруженных фрагментов предгорных впадин и поэтому обнажаются на очень небольших площадях. Подвижные блоки палеозойского основания рассекаются субширотными разломами. Прерывистые восходящие движения в Жетысу Алатау завершили оформление современного рельефа и обусловили формирование трех комплексов террас.

Крупнейший разлом, проходящий вдоль южных предгорий хр. Тышкан-тау, был активен в альпийском этапе. Он является сбросом с плоскостью падения на север под углом 60-80°.

Рыхлые отложения, относимые к молассоидной формации, в исследуемом регионе занимают значительное место. Представлены они осадками палеоген-неогена и четвертичной системы. Отложения четвертичной системы распространены во всех предгорных и межгорных впадинах Жетысу Алатау, они также широко развиты в горной ее части и представлены всеми континентальными генетическими типами. Мощность их изменяется от 10 до 200 м [74]. Маломощным чехлом они прикрывают склоны гор и поверхности выравнивания Жетысу Алатау. По генезису выделяются делювиальные, гляциальные, флювиогляциальные, пролювиальные, аллювиальные, озерные, эоловые и др. отложения. Также широко развиты сложные генетические типы отложений: аллювиально-пролювиальные, делювиально-пролювиальные, аллювиально-озерные и т. д. Возраст отложений от нижнечетвертичных до современных.

Для исследования овражной эрозии на западной части Жетысу Алатау нами были выбраны 4 ключевых участка, выбор которых исходил из интенсивности эрозионных процессов. Исследуемая территория расположена между 44°17'–44°20' с.ш. и 76°45'–77°55' в.д. Гипсометрически район охватывает высоты от 450 до 1380 над уровнем моря. Геологическое описание и распространение этих отложений и литолого-стратиграфический состав исследуемой территории представлены на геологических картах участков (Приложения В), которые составлены согласно современным фондовым материалам из разных источников [75-79].

Ключевой участок выбран в долинах рек, где активно ведется растениеводство различных культур. Мониторинговый участок №1 расположен между рек Тентек и Мукры. Комплекс аллювиальных отложений современного и верхнечетвертичного-современного возраста (aQ_{IV}, aQ_{III-IV}) слагает русла, поймы, террасы долин рек Тентек и Мукры. Поверхность водоразделов сложена четвертичными отложениями аллювиально-пролювиального, делювиально-пролювиального, флювиального генезиса от современного до ниже- и

среднечетвертичных образований. Коренные отложения представлены континентальными, метаморфическими и интрузивными породами. На исследуемой территории представлены следующие отложения: четвертичной системы (Q_I , Q_{II} , Q_{III} , Q_{III-IV} , Q_{IV}); неогеновой системы (N_1^{2-3} - N_2^{1-2}); каменноугольная системы (C_{1V3+n} - C_{2b} , C_{1V1} , C_{1t}), девонская система (D_{2e} , D_{1c}), интрузивные породы (γP_2 , γP_2 , $\gamma 2C_2$, $\gamma \delta 2C_2$, $\delta 1C_2$). Геологическая карта участка №1 представлена в Приложении В.1. Поверхность участка сложена четвертичными суглинками серовато-желтого цвета, галечниками и песками. Мощность суглинков от 2,55 до 3,10 м, в среднем 2,87 м.

Расположение следующего мониторингового участка №2 в западной части гор Жетысу Алатау, на восточных склонах хребта Малайсары предопределяет природные и антропогенные условия эрозионных процессов. Исследования проводились на ключевом участке южнее с. Сарыозек (область Жетысу).

В геологическом строении участвуют породы четвертичной, неогеновой, меловой, триасовой, пермской и каменноугольной систем. Геологическая карта участка №2 представлена в Приложении В.2. Четвертичный горизонт в основном распространен в поймах и долинах рек Киши-Майтобе, Майтобе, Шокпартас, Байгазы, на межгорных равнинах и на склонах гор Желдыкара, Аркарлы и Малайсары. Четвертичные отложения представлены (Q_I , Q_{II} , Q_{III} , Q_{III-IV} , Q_{IV}) песками, галечники, супеси, щебень, глыбы и конгломераты. Мощности нижнего отдела 10-15 м, среднего отдела 60-80 м и верхнего отдела от 1 до 20м.

Отложения неогеновой системы выполняют отрицательные формы рельефа, занимая большие площади в межгорных депрессиях. В исследуемом районе неогеновый горизонт перекрыт чехлом рыхлых четвертичных образований, мощность которого не превышает 10-15 м.

Отложения верхнемеловых пород установлены на склонах хребта Малайсары. Верхнемеловые отложения (K_2) – это песчаники, пески, линзы ожелезненных кварцевых песчаников и глины. Наибольшая мощность верхнемеловых отложений достигает 85 м.

Разрез нижнетриасовых отложений (T_1 - малайсаринская свита) представляют конгломераты, туфы, туфопесчаниками, прослои глинистых сланцев и кварцевыми порфирами, суммарной мощностью мощностью 200-210 м. Эти отложения в исследуемом районе распространены в участках гор Жельдыкара и Майтобе.

Пермские отложения (P_{2ds}^2 , P_{2ds}^1 , P_{1kz}^2 , P_{1kz}^1), известны на склонах хр. Малайсары, гор Аркарлы и Жельдыкара. Они представлены осадочными и вулканогенными образованиями (досовская и кызылкайнарская свиты). Мощность досовской и кызылкайнарской свиты варьируется от 550 до 960 м.

Каменноугольные отложения (матайская свита - C_{3mt2} , C_{3mt2} и C_2 , C_{2V3n}) распространены в различных частях исследуемого района небольшими участками.

Другой мониторинговый участок расположен на более пустынной территории, где также происходит формирование оврагов. Ключевой участок №3 расположен на плато Итжон. Плато Итжон находится между юго-западной

части хр. Малайсары и р. Иле, где амплитуда высот поверхности колеблется в пределах 450-600 м.

Геологическое строение плато Итжон весьма сложно. Здесь встречаются разновозрастные интрузии и эффузивы различного петрохимического состава; генетически неоднородные отложения нескольких периодов палеозойской эры, мезозоя и кайнозоя. Геологическая карта участка №3 показана в Приложении В.3.

Основную часть поверхностных четвертичных отложений (Q_{IV} , Q_{III-IV} , Q_{III} , Q_{II-III} , Q_I) мощностью от 1-15 до 20-80 м занимают галечники, гравий, разнотернистые пески с прослоями глин, илы, суглинки, щебень, лессовидные суглинки.

Неогеновые осадки (N_2^{2-3il} , N_1) мощностью 10-15 м состоят из разнотернистых песков с примесью дресвы, гальки, гравия, галечника, песчаника, конгломератов, песчаных и алевролитистых глин, алевролитов, суглинков, гравелитов, известняков.

Верхнемеловая система (K_2) мощностью до 85 м представлена конгломератами, песчаниками, песками, линзами ожелезненных кварцевых песчаников и глин.

Образования отложений пермской системы (P_{2kc} , $P_{1-2 cl}$, P_{1kr1-2} , P_{1kz1}) общей мощностью 550-960 м состоят из песчаников, туфопесчаников, туфов, конгломератов, альбитофиров, кварцевых порфиров, туфобрекчий, андезитовых порфиритов, дацитовых, трахитовых, трахидацитовых порфиров, туфолавы, игнимбритов, туфогравелитов, туфоконгломератов.

Каменноугольная система представлена средним-верхним отделом (C_{2-3}) мощность которого достигает 400 м. Большую часть разреза занимают эффузивы и туфы андезитового состава, песчаники, алевролиты, гравелиты, известняки. Каменноугольная система верхний отдел – пермская система, нижний отдел известны как конуроленская свита (C_3-P_1kn) мощностью 500-600 м.

Интрузивными породами описываемый район беден. По всей площади исследований отмечается несколько обособленных незначительных по площади выходов интрузивных пород ($\chi\xi P_2$, $\xi\delta P_1$, $\chi\xi?P_2$, $\delta?O_3$, πPZ_3).

Особенностью геологического строения предгорных равнин западной части Жетысу Алатау является наличие мощного покрова кайнозойских отложений различного генезиса, которые практически повсеместно перекрывают более древние породы. В основном формирование и развитие оврагов связано с верхнекайнозойскими образованиями. Большую роль в сложении западной части Жетысу Алатау играют рыхлые породы – пески, глины, суглинки, супеси неоген-четвертичного возраста, легко размываемыми даже при небольших уклонах поверхности.

На исследуемой территории современный этап активной природной и далее антропогенно спровоцированной овражной эрозии не является единственным и первым. В геологической истории территории были периоды, когда линейная эрозия охватывала более значительные пространства, доказательством этого являются древние сая, большинство из которых формировались в виде оврагов или небольших речных долин.

Ключевой участок №4 для мониторинга овражной эрозии выбран на самой западной части хребта Малайсары, где предгорья постепенно переходят на равнину (Балкаш-Алакольской впадины). Геологическое строение этой части Жетысу Алатау характеризуется преимущественным развитием различных метаморфических, осадочных и магматических образований допалеозоя и палеозоя. Породы мезозоя выполняют межгорные впадины. Отложения кайнозоя развиты не только во внутренних и межгорных впадинах, но и в эрозионных долинах, и на склонах гор.

В геологическом строении участвуют породы неогеновой, меловой, триасовой, пермской и каменноугольной систем (Приложение В.4). Они представлены следующими по возрасту отложениями: четвертичной системы (Q_I , Q_{II} , Q_{III} , Q_{III-IV} , Q_{IV}); неогеновой системы (N_2^{2-3} , N_1); меловой системы K_2 ; триасовой системы (T_1^{ml}); пермской системы (верхний отдел – P_2^{kc} , $P_2^{ds_2}$, $P_2^{ds_1}$, нижний отдел – P_1^{kr} , $P_1^{kz_2}$, $P_1^{kz_1}$); каменноугольная системы (C_3 - P_1^{kn} , $C_3^{mt_2}$), интрузии ниже-пермские ($\xi\delta P_1$, $\xi\delta P_1$); интрузии выше-каменно-угольные (δC_3 , pP_1).

Комплекс четвертичных аллювиальных отложений приурочен к долинам рек западной части Жетысу Алатау и представлен валунно-галечниками и гравийно-галечными образованиями, перекрытыми с поверхности песками, супесями и суглинками, местами лёссовидного облика. Отложения четвертичной системы в исследуемом районе занимают значительное место. Генетически это аллювиальные, эоловые и делювиально-пролювиальные типы. Аллювиальные отложения ниже-среднечетвертичного и современного возраста слагают надпойменные террасы и долины рек Еспе, Караеспе, Кербулак, Сарыбулак, Иле и представлены галечниками, гравием, песками, алевролитами, супесями, лёссовидными суглинками и илами мощностью от 6 до 14 м. На самой западной части исследуемого участка эоловые накопления современного возраста мощностью 6-10 м образуют песчаные массивы Жинишкекум и Жуанкум. Делювиально-пролювиальные отложения от среднечетвертичного до верхнечетвертичного-современного возраста слагают склоны и подножья гор, прорезанных сухими логами.

2.1.2 Литологические свойства пород

Выходящие на дневную поверхность горные породы имеют различные физические свойства, поэтому в разной степени подвержены к размыву и обуславливают различие в развитии овражной эрозии по территориям. Литологический состав горных пород является одним из важнейших факторов, влияющих на формирование оврагов. Для выявления развития и прогноза овражной эрозии ориентируемся на литологические свойства пораженных пород дневной поверхности территории исследования.

Разные исследования обнаружили, по литологическому составу, где породы обладают менее устойчивыми свойствами, были более склонны к образованию оврагов, в то время как области с более твердыми и плотными породами имели меньше оврагов [70, 80-82]. Густота и динамика формирования оврагов во

многим зависят от свойства горных пород – их литологического состава, степени цементации и механической прочности, водопроницаемости.

Для развития овражной эрозии большое значение имеют трещиноватость, пористость, степень выветренности, степень сцепления, термическое состояние, влагонасыщенность пород. Устойчивость горных пород по отношению к размыву является одной из природных характеристик, оказывающих большое влияние на развитие овражной эрозии, распространение оврагов по территории, интенсивность процесса и морфологический облик отдельных оврагов [2]. Среди пород легко размываются лёссы и лёссовидные суглинки, больше всего – поверхностные суглинки, значительно устойчивы к размыву плотные суглинки. Воздействию водной эрозии более устойчивы флювиогляциальные и древнеаллювиальные песчано-супесчаные отложения, хотя они могут отличаться хорошей водопроницаемостью.

Основными свойствами, определяющими поведение пород при овражной эрозии в лёссовидных породах, являются их просадочность и сопротивление на сдвиг. Просадочными породами считаются породы, у которых $\delta_{\text{пр}} \geq 0,02$, где $\delta_{\text{пр}}$ – коэффициент относительной просадочности. В лёссовидных породах, при которых возможно возникновение просадочных деформаций в процессе развития овражной эрозии, равное 0,68 [83, 84]. При увеличении коэффициентов пористости относительная просадочность пород увеличивается с переходом процесса овражной эрозии на суффозионные процессы. Суффозионно-эрозионные процессы проявляются в пористых и неоднородных по гранулометрическому составу породах.

На динамику овражной эрозии большое влияние оказывает механический состав рыхлых отложений, от которого зависит фильтрационная способность и интенсивность эрозии. Механический состав почвы в значительной степени обуславливает почти все ее свойства, плодородие и агрономические качества. Под действием эрозионных процессов в определенной степени происходит и изменение механического состава. В смытых породах увеличивается содержание фракций песка и уменьшается содержание глинистых и илистых частиц. Песчаные породы в большинстве случаев легко поглощают выпадающие дождевые осадки и поверхностный сток на них часто отсутствует.

В зависимости от механического состава пород в процессе размыва водными потоками и дальнейшем углубления рельефа местности все большее значение приобретает фактор размываемости. По методике, предложенной в лаборатории эрозии почв и русловых процессов МГУ, была составлена карта размываемости для западной части Жетысу Алатау (Приложение Г) [8, 62].

На карте размываемости горных пород в западной части Жетысу Алатау (Приложение Г) представлены следующие категории пород по размываемости в зависимости от литологических свойств и средней неразмывающей скорости (V , м/с):

- 1) пески разнотернистые 0,17-0,75 м/с;
- 2) супеси 0,65-0,7 м/с;
- 3) легкий суглинок 0,45-0,7 м/с;
- 4) среднесуглинистые 0,7-1,0 м/с;

- 5) суглинок тяжелый (с 40-65% глины) 0,8 м/с;
- 6) суглинки 0,8 м/с;
- 7) глинистые 0,8-1,3 м/с;
- 8) суглинки с преобладанием тяжелых и средних суглинков 1.3 м/с.

Перечисленные категории горных пород в слоистых толщах в пределах глубин местных базисов эрозии могут состояться в различных пропорциях сверху вниз по геологическому разрезу.

Литологические свойства горных пород по их размываемости необходимо учитывать при оценке эрозионной опасности территории вследствие формирования линейной эрозии. Эти меры необходимы для сравнения потенциально размываемости с фактической размываемостью и образованием оврагов. В западной части Жетысу Алатау к наиболее размываемым породам относятся пески разнотернистые, лессы, супеси, лессовидные суглинки и средние и тяжелые суглинки. Эти породы составляют значительную часть поверхности региона. Они составляют террасы рек и озер, бугристо-барханный рельеф, адыры, увалисто-холмистый денудационно-аккумулятивный рельеф, подгорные аккумулятивные равнины, конуса выноса и склоны низкогогорья. Интенсивное развитие овражной эрозии наблюдается в бассейнах рек, как в низкогогорной части, так и на равнинах. На некоторых волнистых участках овраги ветвятся особенно, формируя сильно расчлененный рельеф типа «бедленд». В горах, несмотря на большие уклоны, овражная эрозия встречается редко, так как преобладание здесь скальных пород затрудняет размыв водными потоками.

Таким образом, распространение современной овражной сети на западной части Жетысу Алатау в значительной степени определяется литологическим фактором. Чаще всего овраги формируются на рыхлых четвертичных отложениях, на легко размываемых лессовидных суглинках, где с увеличением мощности этих пород возрастает интенсивность развития овражной сети. Менее всего развиваются овраги на плотных коренных отложениях. Литологический состав, физико-механические свойства и формационное поведение пород на заовраженных территориях Жетысу Алатау определяют методы противоэрозионных мероприятий.

2.1.3 Геоморфологическое строение

Для западной части Жетысу Алатау с разнообразными физико-географическими, климатическими условиями и степенью хозяйственной освоенности, необходима специфическая направленность геоморфологического районирования территорий, которая определяет формирование и активность овражной эрозии. Геоморфологическое строение территории оказывает влияние на распределение атмосферных осадков, скорость и направление склонового стока, увлажнение и тепловой режим грунтов. С геоморфологических позиций территория исследований характеризуется большим разнообразием типов и форм рельефа, где представлены горные хребты и предгорья Жетысу Алатау, низкогогорья, аккумулятивные равнины, впадины, современная и древняя речная сеть.

Исследуемая территория по геоморфологическому районированию относится к области орогенного пояса южного и юго-восточного Казахстана, укрупненному геоморфологическому району – хребтов и предгорий Жетысу Алатау [85]. Хребты Жетысу Алатау, расположенные северо-восточнее Заилийский Алатау, между Алакольской и Илийской впадины, имеют протяженность с запада на восток около 400 км [86]. Речные долины являются консеквентными и субсеквентными, обычно с большим количеством крутых изгибов. Пересекая горные гряды, долины становятся антецидентными, приобретая форму глубоких (до 400 м), иногда каньонообразных ущелий.

Для Жетысу Алатау характерно ступенчатое строение северных и южных склонов, ступени состоит из участков древних денудационных поверхностей. Западной части Жетысу Алатау хребта присуще сочетание гор с мягкими контурами и предгорных наклонных равнин. На южных склонах распространены сильно расчлененные предгорья – адыры, местами развит рельеф бедленд.

На исследуемой территории можно выделить 5 морфологических типов рельефа: среднегорный эрозионно-денудационный слабо расчлененный рельеф; низкогорный денудационный слабо расчлененный рельеф; увалисто-холмистый денудационно-аккумулятивный рельеф; бугристо-барханный эоловый рельеф, с которыми связаны современные речные долины и овраги.

Среднегорный эрозионно-денудационный слабо расчлененный рельеф. К данному типу относятся наиболее возвышенные части гор Кокишиели, Жельдыкора, Малайсары, Архарлы и Шолак. Этот тип является переходным от высокогорного рельефа, развитого восточнее, к низкогорному и характеризуется более сглаженными формами по сравнению с высокогорным.

Склоны имеют довольно пологую выпукло-вогнутую поверхность; водораздельные части также значительно сглажены и только иногда, на южных склонах гор, наблюдаются более устойчивые к выветриванию породы, образующие остроконечные и гребневидные формы рельефа. Как правило, на всех участках среднегорья северные склоны значительно положе южных, которые имеют обычно узко врезанные ущелья, остроконечные утесы, отвесные уступы и т. п. Среди участков среднегорья попадаются отдельные, резко возвышающиеся останцы высокогорного рельефа. Абсолютные отметки среднегорья колеблются в пределах 800-1400 м. Относительные превышения 100-150 м.

Низкогорный денудационный слаборасчлененный рельеф. Данный рельеф развит, как и ранее описанный тип рельефа, в горах Кокишиели, Ашудасты, Жельдыкора, Малайсары и т.д. Переход от среднегорья к низкогорью обычно постепенный, малозаметный, лишь иногда резкий, ступенчатый. Абсолютные отметки колеблются от 750 до 1000 м, при относительных превышениях 75-100 м. Поверхность низкогорья обычно сглаженная, прорезана рядом оврагов и промоин. Этот тип рельефа приурочен к областям развития туфогенно-осадочных пород. Характерен для северных склонов горных сооружений.

Увалисто-холмистый денудационно-аккумулятивный рельеф. Этот рельеф наблюдается как в межгорных депрессиях и у подножия горных

сооружений, где он постепенно переходит в низкогорье. Преобладает совокупность пологих невысоких холмов и увалов, сложенных преимущественно обломочным материалом. Относительная их высота 15-30 м. В создании этих форм основную роль сыграла тектоника. Район неоднократно подвергался поднятию, и в силу усиленного эрозионного вреза был создан подобный рельеф. В устьях сухих логов наблюдаются незначительные конуса выноса.

Бугристо-барханный эоловый рельеф. Этот аккумулятивный тип рельефа встречается в районе на двух участках: на северо-западе в песках Мойынкум и вдоль р. Кербулак. Эти два участка в деталях строения рельефа существенно разнятся.

Северо-западный участок (Мойынкум) имеет типично бугристо-барханный рельеф, сложенный желтыми мелкозернистыми песками. У границ участка рельеф преимущественно бугристый. Бугры образуют вытянутые полосы северо-восточного простирания. Далее к центру участка рельеф приобретает типично барханный облик. Отдельные барханы имеют лунообразную проекцию, с пологими наветренными и крутыми подветренными склонами. Высота их до 5-8 м. Местами наблюдаются блюдцеобразные понижения, представляющие собой дефляционные котловины. Наблюдается постепенное перемещение барханов в сторону господствующего направления ветров, к северо-западу.

Участок вдоль р. Кербулак имеет мелкобугристый рельеф, сложенный тонкозернистыми лёссовидными песками. Бугры имеют незначительные высоты (0,5-0,7 м) и диаметры (2-2,5 м). Барханы отсутствуют.

Современные речные долины и овраги. В исследуемом районе крупной долиной с постоянным водотоком является р. Иле. Остальные долины представляют собой мелкие реки, которые пересыхают в летнее время (Шенгельды, Сарыбулак, Еспе, Кербулак, Шокпакты-Озек, Терскенды-Озек и др.).

Долина р. Иле на исследуемой территории является типичной antecedentной долиной (долиной прорыва). Она пропиливает коренные вулканогенные породы нижней перми и выходит на широкое межгорное понижение. По характеру склонов долина симметричная, крутизна склонов редко превышает 50-60°, обычно варьирует в пределах 30-45°. Тальвег долины имеет ширину до 400 м, с шириной водотока 150-200 м. Хорошо выражена пойма и береговая зона со всеми элементами: бичевником, зоной разлива, зоной высокого разлива и береговой нишей. Первая надпойменная терраса имеется у р. Иле и у сухих русел. В долине Иле ширина террасы 0,5-8 км. Она сложена супесями среднечетвертичного возраста, характеризуется богатым травянистым и древесным покровом. Происхождение надпойменной террасы скульптурное, возраст позднечетвертичный. Глубина эрозионного вреза террасы в поверхность среднечетвертичной равнины достигает 2 м.

Второстепенные реки имеют 2 различных типа долин на своем протяжении. В межгорной депрессии, долины имеют широкое ложе, пологие склоны, частое меандрирование русла. В горах долины рек приобретают узкий ущелевидный характер с прямолинейным руслом. Сухие русла врезаны на 3-4 м. Ширина сухих

русел достигает 100 м, берега обрывистые и эродированные. Днища сухих русел в большей части переработаны эоловыми процессами. В основном переработан русловой аллювий. На отдельных участках развиты эоловые пески аллохтонного происхождения.

Овраги встречаются повсеместно, имеют крутые симметричные склоны (70°), ширина дна оврага 15-20 м. Глубина 5-8 м и глубже, формы ущелевидные и ящикообразные [76, 77].

Геоморфологическое строение мониторинговых участков.

Ключевой участок №1 для мониторинга овражной эрозии находится в долинах рек, где более интенсивно развиты сельскохозяйственные виды работ. В долинах рек Быжы и Мукур имеются несколько населенных пунктов, хозяйственная деятельность которых сказывается на развитии овражной эрозии. Геоморфологическое строение участка отражено на геоморфологической карте (Приложение Д.1).

Территория, прилегающая к р. Мукур, представлена низкогорьем, холмами и равнинами. Тектонически-денудационные низкие гривовые горы развиты на левобережье реки Мукур, юго-западнее населенного пункта Мукур. Увалистые горы с относительными превышениями высот 200-500 м и тектонически-денудационные адырные холмы распространены в среднем междуречьи Мукур и Талдыбулак, Тентек и Кусак. Денудационные, с новейшим эрозионным расчленением, волнистые (более 10 м) равнины расположены юго-западнее н.п. Мукур. Аккумулятивные аллювиально-пролювиальные, покатые, наклонные, слаборасчлененные (10-20 м) равнины распространены в нижнем течении рек Мукур, Тентек, Кусак, Жартоган. Адырный рельеф развит на нижнечетвертичных аллювиально-пролювиальных отложениях, сложенных в верхней части лёссовидными суглинками. Здесь овражная эрозия проявляется особенно активно [86].

Следующий мониторинговый участок №2 расположен в западной части гор Жетысу Алатау, на восточных склонах хребта Малайсары, где естественные и антропогенные процессы совместно создают условия развития овражной эрозии. Крупный населенный пункт Сарыозек также значительно влияет на геоморфологическую среду участка исследования, формируя урбанизированные овраги как внутри пункта, так и вокруг него. Геоморфологическое строение участка №2 отражено на геоморфологической карте (Приложение Д.2).

Северо-восточнее н.п. Сарыозек территория занята денудационной наклонной средневолнистой (10-20 м) равниной, с новейшим эрозионным расчленением. Юго-восточная часть – аккумулятивными аллювиально-пролювиальными слаборасчлененными (10-20 м) и расчлененными (20-40 м) равнинами. В рельефе мониторингового участка встречается несколько типов низких и средних гор. Средние горы – грядовые, увалистые, слаборасчлененные; грядовые, гривовые, увалистые, расчлененные; гривовые, грядовые, интенсивно расчлененные. Относительные превышения высот 200-500 м. Средние горы – грядовые, увалистые, слаборасчлененные с относительными превышениями высот 500-2000 м. Низкие и средние горы относятся к тектонически-денудационной группе рельефа. Низковолнистые, с эрозионным расчленением

наклонные денудационные пенемены встречаются в районе населенных пунктов Казансу, Караагаш, южнее Сарыозека, в верховьях междуречья Майтобе и Киши Майтобе. Долины рек Каскабулак, Каракаска имеют низкие и высокие поймы. На мониторинговом участке также имеются локальные участки рельефа бедленд, где наиболее проявлено интенсивное расчленение, они чаще всего развиты на глинистых неогеновых отложениях [86].

Другой мониторинговый участок расположен на территории, где развитие оврагов происходит своеобразно в естественных аридных условиях. Данный ключевой участок №3 находится на плато Итжон. Более детальное геоморфологическое строение участка отражено на геоморфологической карте (Приложение Д.3).

Плато Итжон расположено к северо-западу от водохранилища Капшагай, это денудационная наклонная, с новейшим эрозионным расчленением, волнистая (более 10 м) равнина. Возраст раннечетвертичный (Q_I). К югу и востоку от плато находится аккумулятивная аллювиально-пролювиальная, покатая, наклонная слаборасчлененная (10-20 м) равнина среднечетвертичного возраста (Q_{II}). К северу от плато развиты конуса выноса временных рек. В рельефе рассматриваемой территории также выделяются аккумулятивная эоловая бугристо-ячеистая равнина позднечетвертичного-современного возраста (Q_{II-IV}), увалистые, грядовые и гривовые холмы. Вокруг грядовых холмов делювиально-пролювиальная, покатая, наклонная слаборасчлененная (10-20 м) равнина расположена. Поймы рек Иле, Кербулак и др. сложены осадками современного возраста (Q_{IV}).

Ключевой участок №4 для мониторинга овражной эрозии расположен на самой западной части хребта Малайсары, где предгорья постепенно переходят на равнину Балкаш-Алакольской впадины. Рельеф хребта Малайсары постепенно переходит от среднегорья к низкогорью, местами переход резкий и ступенчатый. Поверхность низкогорья денудирована, слабо расчленена сетью оврагов и промоин. Этот тип рельефа характерен для северных склонов хребта. Абсолютные отметки низкогорья колеблются от 750 до 1000 м, при относительных превышениях 75-100 м. Детальное геоморфологическое строение участка показано на геоморфологической карте (Приложение Д.4).

Хребет Малайсары относится к тектонически-денудационному гривовому типу рельефа с относительными превышениями 500-2000м. Реже встречаются увалистые и грядовые типы рельефа. Возраст неоген-четвертичный (N-Q). С юга и северо-запада хребет обрамляют конуса выноса позднечетвертичного - современного возрастов (Q_{III-IV}). Аккумулятивные аллювиальные, покатые, слаборасчлененные (10-20 м) равнины получили распространение в основном в междуречье юго-восточнее и северо-восточнее хребта. Возраст отложений среднечетвертичный (Q_{II}) и позднечетвертично-современный (Q_{III-IV}).

Эоловые аккумулятивные грядовые и бугристо-ячеистые равнины раннечетвертичного возраста (Q_I) развиты северо-западнее хр. Малайсары. Долины крупных рек Иле, Кербулак, Шетозек представлены пойменными и надпойменными террасами современного возраста (Q_{IV}).

Геоморфологическое строение и литологическая составляющая территории исследования определяют развитие многих рельефообразующих процессов, таких как – обвалы, оползни, просадочные явления, суффозия. В горной части Жетысу Алатау широко развиты оползневые явления, способствующие проявлению эрозии, с последующим формированием оврагов. Эти процессы в природной среде возникали и возникают независимо от антропогенных факторов, но деятельность человека способствует и усиливает их развитие. В низкогорной, предгорной и равнинной частях западного Жетысу Алатау часто встречаются просадки грунта и суффозия, что также инспирирует возникновение овражной эрозии.

Рассматриваемая территория по геоморфологическому строению местами характеризуется древними эрозионными формами рельефа в виде не глубоких саев, что определяет возможность развития современной овражной эрозии. Особенно там, где нарушается устойчивость склонов. В целом рельеф в западной части Жетысу Алатау является одним из ведущих условий формирования оврагов. Потенциал этих условий порой пропорционален степени хозяйственной освоенности территории.

2.1.4 Рельеф как фактор развития овражной эрозии

Анализ морфометрических параметров рельефной среды является важным звеном в цепи полевых и дистанционных методов оценки развития овражной эрозии. В западной части Жетысу Алатау рельефная среда определяет уровень водности и скорости талых и дождевых вод, определяет энергию и эродирующие свойства потоков.

Тесная связь существует между степенью овражности и уровнями местных базисов эрозии, длиной склонов и гидрографической сетью [2]. Длина, ширина, глубина оврагов [19, 87], плотность и модуль эрозии определяют динамику развития оврагов [88]. Также весьма важным рельефным фактором являются крутизна склонов, их экспозиция и протяженность.

Рельеф исследуемой территории характеризуется контрастами ландшафтов, значительными колебаниями высот, интенсивной и глубокой расчлененностью, чередованием высокогорных, среднегорных, низкогорных массивов и межгорных депрессий в западной части горной системы Жетысу Алатау. Современное состояние рельефной среды и геоморфологические процессы Жетысу, в том числе процесс овражной эрозии, были изучены в ходе полевых работ [89].

В орографическом отношении исследуемая территория представляет собой ряд горных гряд Жетысу Алатау широтного простираения, разделенных широкими межгорными долинами. На этой территории с севера на юг выделяются следующие горы: Кокишиели, Ашудасты, Жельдыкора, хребет Малайсары, Архарлы, Шолак (Приложение Е).

Горы Кокишиели юго-западного простираения, абсолютные отметки колеблются в пределах 800-1180 м, при относительном превышении до 300 м. К юго-западу горы погружаются под пески Мойынкум.

Горы Ашудасты также юго-западного простирания, абсолютные отметки 900-1040 м, при относительном превышении до 200 м.

Горы Жельдыкора широтного простирания являются продолжением гор Аркалык на запад. Это наиболее расчлененная горная гряда исследуемой территории. Абсолютные отметки колеблются в пределах от 1000 до 1350 м. Относительные превышения достигают 300 м.

Хребет Малайсары – широтного простирания, он прослеживается на расстоянии до 80 км, при ширине 8-10 км, и к западу погружается под наносы Илийской долины. Абсолютные высоты 1100-1400 м, на востоке и 700-850 м на западе. Относительные превышения – порядка 100–200 м.

Горы Архарлы широтного простирания. Абсолютные высоты колеблются в пределах 920-1200 м, при относительном превышении до 150-200 м. К западу горы понижаются и заканчиваются у ж/д станции Жоломан.

Горы Шолак на рассматриваемой площади представлены лишь северо-западными склонами. Простирание гор юго-западное. Абсолютные отметки не превышают 1200 м, при относительных превышениях 200 м (в среднем).

Характеристики рельефа воздействуют на степень концентрации, водность и скорость потоков талых и дождевых вод. Эти параметры главным образом определяют энергию и эродирующую способность потоков.

Для анализа влияния элементов рельефа любого уровня на динамику овражной эрозии используют количественные показатели, как гипсометрия, вертикальное и горизонтальное расчленение поверхностей, средние уклоны водосборной площади и длина склонов овражной сети, экспозиция склонов. Именно эти показатели определяют основные природные предпосылки развития овражной эрозии, интенсивность проявления которых отражают степень напряженности эколого-геоморфологической ситуации в западной части Жетысу Алатау.

Согласно исследованиям, влияние крутизны склонов [90, 91, 92], угол наклона склона являются одним из наиболее значительных факторов, влияющих на развитие эрозии оврагов. В своем исследовании исследователи обнаружили, что склоны с углом наклона более 5 градусов с большей вероятностью подвержены овражной эрозии. Участки с более крутыми склонами имели более высокую вероятность развития овражной эрозии. Критический уклон склона для образования оврагов связан с прочностью сцепления грунта и способностью грунта сопротивляться эрозии.

Другим фактором, играющим решающую роль в развитии овражной эрозии, является длина склона. Длина склона влияет на скорость стекающей по нему воды. Согласно исследованиям [93, 94], более длинный склон приводит к более быстрому течению воды, что увеличивает вероятность концентрированного стока и развития эрозии оврагов. Они обнаружили, что критическая длина склона для развития оврага составляет примерно 30 метров. Участки со склонами длиной более 30 метров чаще подвергались овражной эрозии. Длина склона положительно коррелирует с количеством и площадью оврагов. Исследование показало, что склоны длиной более 100 метров чаще подвержены овражной эрозии [95]. Это связано с тем, что более длинные склоны, как правило, создают

большие объемы и скорости стока, что приводит к концентрированному потоку и эрозии. Эрозия оврагов с большей вероятностью возникает в районах с более крутыми углами склонов и меньшей длиной склонов, поскольку эти факторы увеличивают вероятность концентрированного потока и эрозии.

Кроме крутизны и длины склона, форма рельефа может влиять и на направление и скорость течения воды. Например, если участок имеет вогнутый склон, вода с большей вероятностью будет течь к центру вогнутости, что увеличивает вероятность концентрированного потока и эрозии. И наоборот, выпуклый склон будет рассеивать воду в нескольких направлениях, уменьшая концентрацию воды и снижая риск образования оврагов. Этот вывод был подтвержден исследованием Lobaugh, C. R. и Hooke, J. M [96, 97, 98], в котором было обнаружено, что форма склона влияет на формирование эрозии оврагов. Наличие устья малого эрозионного формирования, которое часто связано с вогнутыми склонами, может увеличить вероятность образования оврагов.

Топографическая изменчивость территории также является существенным фактором в развитии овражной эрозии. Взаимодействие между крутизной склона, длиной склона и кривизной склона создает топографическую изменчивость, влияющую на формирование оврагов. В целом, районы с высокой топографической изменчивостью более подвержены овражной эрозии, поскольку они обеспечивают множество путей стока воды, что увеличивает потенциал концентрированного потока и переноса наносов. Овраги большей вероятностью формируются в районах с более высоким индексом рельефа, который является мерой местного топографического градиента [99, 100, 101]. Овражная эрозия имеет тенденцию возникать в районах со средним и большим пространственным масштабом топографии, кроме того, мелкомасштабная топография, такая как микротопография, может играть роль в возникновении оврагов, создавая области концентрированного потока. Исследование также показало, что овраги имеют тенденцию развиваться в районах со сложной топографией, таких как склоны холмов, пересекаемые дорожной сетью и дренажными каналами. В пределах западной части Жетысу овражная эрозия чаще возникает в районах с высоким рельефом, крутыми склонами, низким растительным покровом, более высоким уровнем человеческого вмешательства.

Морфометрические методы, связанные с количественным изучением расчлененности рельефа, направлены на выявление структурных форм, апагогическим показателем которых может служить характер и интенсивность расчленения рельефа. Показателями расчлененности рельефа являются вертикальное и горизонтальное. Показатели горизонтального и вертикального расчленения поверхностей наряду с другими параметрами как гипсометрия, экспозиция, уклоны и длины склонов эрозионных форм, определяют основные природные развития эрозионных процессов.

Горизонтальное расчленение рельефа может влиять на развитие овражной эрозии, изменяя режим течения воды и увеличивая перенос наносов за счет изменения схемы водного потока. Интенсивность горизонтального расчленения рельефа приводит к потере растительного покрова, что может еще больше усугубить скорость эрозии, а в дальнейшем к разделению ландшафта на ряд

террас, хребтов и долин. Исследование в разных странах показало, что горизонтальное расчленение рельефа явилось существенным фактором развития овражной эрозии. Скорость эрозии оврагов была самой высокой в ландшафтах с высоким уровнем горизонтального расчленения. В частности, исследование показало, что скорость овражной эрозии была самой высокой в ландшафтах с отношением площади террасы к площади склона более 0,15 [102]. Скорость овражной эрозии была самой высокой в ландшафтах с длиной склонов более 30 м и шириной террас более 3 м [103]. Также степень горизонтальной расчлененности рельефа положительно коррелирует с объемом наносов, переносимых овражной эрозией. Исследование показало, что скорость овражной эрозии была самой высокой в ландшафтах с площадью водосбора более 1 км² и длиной склона более 10 м [104].

Для изучения овражной эрозии и получения более детальных характеристик рельефа необходимо построение карт с морфометрическими показателями. Далее нами посредством ГИС обработки цифровой модели рельефа с горизонтальным разрешением 30 м были получены карты горизонтального и вертикального расчленения рельефа. В основу методики построения карт входили расчет морфометрических данных рельефа посредством обработки цифровой модели рельефа (ЦМР) STRM 30m Digital Elevation. Для анализа густоты горизонтального расчленения применяется способ построения карты. Горизонтальное расчленение выявляется по формуле $G=L/P$, где длина эрозионной сети (L) на единицу площади (P). Показатели горизонтального расчленения подписываются на карте внутри квадратов (элементарных ячеек), по которым ведется подсчет длины эрозионной сети. Далее в соответствии с выбранной категорией шкалой квадраты закрашиваются на разные цвета.

Интенсивное горизонтальное расчленение – один из основных показателей неблагоприятного эрозионного состояния земель западной части Жетысу Алатау. Представление о пораженности района эрозионными процессами дает карты горизонтального расчленения. В зависимости от значения густота горизонтального расчленения представлены следующие категории:

- 1) слабо подверженные земли, густота горизонтального расчленения менее 1 км²;
- 2) средне подверженные земли, густота горизонтального расчленения 1-2 км²;
- 3) сильно подверженные земли, густота горизонтального расчленения 2-3 км²;
- 4) очень сильно подверженные земли, густота горизонтального расчленения 3-4 км²;

На ключевой участок №1, расположенного в долине реки Мукур, проводилась обработка цифровой модели рельефа с выходом карты горизонтального расчленения (Приложение Ж.1).

В долине р. Мукур горизонтальное расчленение распределено от 1 до 4 км/км². В большей части территории менее 1 км/км² (слабо подверженные земли) и 1-2 км/км² (средне подверженные земли). Местами встречаются участки с горизонтальным расчленением 2-3 км/км² (значительно подверженные земли).

Только на одном участке встречаются 3-4 км/км² (сильно подверженные земли). Значение горизонтального расчленения распределено не равномерно. Овраги в данном участке наблюдаются на бортах долин и на переходной части от террасы рек к равнине. В ходе мониторинга выявлено, что по правому борту долины р. Мукур развито 34, а по левому борту – 10 овражно-саевых сетей, которые в плане имеют ветвящийся вид. Это дает основание, что использование ЦМР позволяет выявить участки распространения оврагов.

Для получения количественных данных по исследованию овражной эрозии на ключевом участке №2 (прилегающей территории с. Сарыозек) также составлена карта горизонтального расчленения. Наглядное представление о пораженности ключевого участка эрозионными процессами дает карта горизонтального расчленения (Приложение Ж.2).

Обзор карты горизонтального расчленения участка №2 позволил выделить 4 категорий участков, подверженных овражной эрозии определенными показателями густоты эрозионного расчленения. Значительная часть участка менее 1 км/км² (слабо подверженные земли) и 1-2 км/км² (средне подверженные земли). Иногда встречаются участки с горизонтальным расчленением 2-3 км/км² (значительно подверженные земли) и в одном участке встречаются 3-4 км/км² (сильно подверженные земли). Эти показатели характеризуют пространственную изменчивость эрозионных процессов.

Мониторинговый участок №3 расположен на более равнинной территории на плато Итжон с уклоном к реке Иле. Горизонтальное расчленение участка отражено на карте (Приложение Ж.3). Здесь рельеф характеризуется сглаженными формами.

Горизонтальное расчленение распределяется по территории исследования неравномерно: она колеблется в пределах 0-4 км/км². Максимальные значения 3-4 км/км² (сильно подверженные земли) встречаются в долинах рек, а минимальные значения – в плакорной части между долинами. В большинстве территории горизонтальное расчленение варьируется от 1-2 км/км² (средне подверженные земли). В отличие от других участков на плато Итжон горизонтальное расчленение менее выражено в связи более ровной поверхности, но из-за литологических особенностей района тут овражная эрозия развивается не меньше, чем в других участках.

Пораженность хребта Малайсары (мониторинговый участок №4) эрозионными процессами наглядно отражается на карте горизонтального расчленения (Приложение Ж.4). Полученные карты также позволяют установить количественные характеристики морфометрических параметров рельефа, выявить его потенциальные возможности для развития рельефообразующих процессов.

Густота эрозионной сети распределяется по территории мониторингового участка №1 неравномерно от 0 до 4 км². Значения горизонтального расчленения увеличиваются на склонах хребта Малайсары и уменьшаются на пониженных участках между гребнями. Анализ карты горизонтального расчленения хребта позволил выделить 4 категорий участков, подверженных овражной эрозии: слабо подверженные земли, густота горизонтального расчленения менее 1 км²; средне

подверженные земли, густота горизонтального расчленения 1-2 км²; значительно подверженные земли, густота горизонтального расчленения 2-3 км/км²; сильно подверженные земли, густота горизонтального расчленения 3-4 км/км².

Полученные количественные данные подтверждают представление о том, что горизонтальная расчлененность рельефа является важным фактором развития овражной эрозии, особенно в ландшафтах с высокой степенью расчлененности на западной части Жетысу Алатау. Описание взаимосвязи между горизонтальным расчленением и овражной эрозией даст более точные данные по динамике овражной эрозии. Необходимы дополнительные исследования для дальнейшего выяснения этой взаимосвязи.

Одним из основных морфометрических свойств рельефа является вертикальное расчленение. Величины вертикального расчленения показывают агрессивность эрозионных процессов той или иной территории. Активность эндогенных процессов земли тесно взаимосвязана с вертикальной расчлененностью рельефа и проявляется на ее величинах.

В многочисленных исследованиях изучалось влияние вертикального расчленения рельефа на развитие овражной эрозии. Исследователи использовали количественные данные, в том числе топографические данные высокого разрешения. Овражная эрозия была более серьезной в районах с крутыми склонами более 20 градусов и высотой более 5 метров [105, 106]. В других исследованиях обнаружено, что овражная эрозия была более распространена на склонах с меньшими показателями вертикального расчленения, где уклон более 10 градусов и высота более 2 метров [107].

Для построения карты вертикального расчленения используются данные амплитуды высот между самой высокой и самой низкой точками цифровой модели рельефа (ЦМР) STRM 30m Digital Elevation. Вертикальное расчленение рельефа определяется по разности высот поверхностей между вершинами положительных форм над дном отрицательных форм. Значения вертикального расчленения подписываются на карте внутри квадратов (элементарных ячеек), по которым ведется подсчет и далее в соответствии с выбранной категорией шкалой квадраты закрашиваются в разные цвета.

На ключевом участке №1, в районе долины р. Мукур, больше всего распространено вертикальное расчленение рельефа со значениями от 10 до 80 м/км² (Приложение И.1). На меньшей части территории ключевого участка наблюдаются значения от 90 до 120 м/км². Редко встречается высокая амплитуда высот от 120 м/км² и более. На участке также соблюдается взаимосвязь вертикального расчленения рельефа с динамикой овражной эрозии из-за разности высот и крутизны склонов. В долине реки Мукры и за ее пределами встречается множество оврагов разной морфометрии.

На ключевом участке №2 вертикальное расчленение рельефа колеблется в диапазоне 10–140 м/км² (Приложение И.2), это связано со сложным рельефом низких и средних гор. Участки с величинами вертикального расчленения от 50 до 110 м/км² практически совпадают с картой горизонтального расчленения, где наиболее распространена овражно-саевая сеть. Имеются небольшие участки с величинами расчленения от 110 м/км² и выше, где наибольшей степени

проявляется активность эрозионных процессов. Рельеф участка имеет сложную морфометрическую характеристику с благоприятной литологией для ускоренного формирования оврагов.

На мониторинговом участке №3 в основном встречаются небольшие показатели вертикального расчленения менее 10-20 м/км². Вертикальное расчленение участка отражено на карте (Приложение И.3). Только ближе р. Иле и в её долине вертикальное расчленение имеют более высокие показатели от 50 до 140 м/км². Такие значения объясняются более ровным рельефом плато Итжон. Однако в связи с более благоприятной литологией грунтов и имеющимися уклонами склонов на плато Итжон повсеместно встречаются различные формы водной эрозии, в том числе овражной.

Глубина расчленения рельефа в пределах хребта Малайсары колеблется в пределах 10-140 м/км² (ключевой участок №4, Приложение И.4). Высокие показатели вертикального расчленения отражены на склонах вершин и на предгорных склонах хребта, где наиболее распространены эрозионные формы рельефа. Большую часть хребта и прилегающих территории занимают участки с низким и средним расчленением (10-40 и 40-60 м/км²). Участки с величиной расчленения от 10-40 м/км² распространены повсеместно в межсклоновых понижениях. На участках значительного и сильного вертикального расчленения (60-80 и 80-100 м/км²) в наибольшей степени проявляются эрозионные процессы. Кроме того, в виде отдельных пятен на вершинной части хребта представлены небольшие участки с очень сильным расчленением (110-140 м/км² и более).

Высокое вертикальное расчленение рельефа на западной части Жетысу Алатау означает наличие в ландшафтах крутых склонов, обрывов и откосов. Здесь в основном вода течет по более крутым склонам или утесам, далее она приобретает импульс и разрушающую силу, что приводит к удалению поверхностных грунтов. Эти топографические особенности увеличивают эрозионную силу воды и в значительной степени способствуют интенсивности водной эрозии. Территориальные особенности вертикальных расчленений рельефа могут в значительной степени способствовать развитию овражной эрозии. Таким образом, вертикальная расчлененность рельефа играет важную роль в развитии овражной эрозии. Прямая взаимосвязь между вертикальным расчленением рельефа и овражной эрозией была доказана в многочисленных исследованиях, что овраги более распространены на крутых и высоких склонах.

Значения с карт горизонтального и вертикального расчленения дают основание повсеместной подверженности района исследования к эрозионным процессам.

Всесторонний морфометрический анализ структуры рельефа позволяет детально охарактеризовать рельеф местности, получить количественные показатели, выявлять особенности, дает возможность создания банка данных морфометрической информации, прогнозировать развитие овражной эрозии, выявлять участков риска для хозяйственного освоения западной части Жетысу Алатау.

Овражная эрозия является важным показателем, отражающим развитие региональной топографии и форм рельефа, а рельеф является одним из

важнейших факторов, влияющих на развитие овражной системы. В последнее время роль рельефа, одного из главных факторов овражной эрозии, в условиях интенсивного развития сельскохозяйственных территории приобретает более выраженный антропогенный характер.

Таким образом, рельеф играет существенную роль в развитии овражной эрозии. Основные показатели рельефа как крутизна, длина и форма склона являются важными количественными характеристиками, влияющими на вероятность образования оврагов. Понимание влияния этих факторов на эрозию оврагов может помочь рационально использовать сельскохозяйственные территории. Верное представление взаимосвязи между рельефом территории и овражной эрозией может помочь в разработке продуктивных мер предотвращения овражной эрозии и смягчения ее последствий.

2.2 Климатические факторы

Климатические условия являются одним из значительных факторов в оврагообразовании. Климатические факторы обеспечивают объём воды и температурный режим в периоды обильных осадков и весеннего снеготаяния, таких расходов воды и скоростей потока, достаточных для развития овражной эрозии.

Влиянию климатических условий на развитие эрозионных процессов посвящены многие публикации и исследования [108-112], в том числе по тревожным климатическим изменениям последних десятилетий [20, 28, 113]. В этих исследованиях рассматривают поверхностный сток, как фактор, вызывающий возникновение и рост овражных форм, во время активного снеготаяния и во время выпадения ливневых осадков. Величина поверхностного стока обусловлена запасами воды в снеге, температурным режимом воздуха и грунта, инфильтрационной способностью почвы, процессами замерзания и оттаивания грунтов.

Разнообразие климатических условий на западной части Жетысу Алатау обусловлено особенностями рельефа, резко выраженной вертикальной зональностью в горных и предгорных районах, экспозиционным и долготным положением. Климат оказывает прямое и косвенное влияние на формирование и активность эрозионных процессов. Прямое воздействие состоит в изменении температуры и увлажненности пород, появлении объемно-градиентных напряжений, а косвенное количество и режим выпадения осадков формирует поверхностный сток, определяющий интенсивность овражной эрозии.

Климат территории исследования резко континентальный с сухим жарким летом и холодной зимой, характеризуется значительными перепадами температур, как в суточном, так и в годичном разрезе. По карте классификации климатов Кёппена-Гейгера (Koeppen-Geiger) за 1986-2006 гг. район исследования относится к степному, прохладному (BSk) типу климата [114].

Температура воздуха отличается резкостью сезонных колебаний, значительной суточной и годовой амплитудой. Значительные перепады высот, расположение отдельных горных хребтов, наличие предгорных и внутригорных

впадин, низкогорий и речных долин определяют вертикальное изменение атмосферного давления, распределение температуры воздуха, воздушных течений, облачности, осадков, что способствует формированию горных климатических условий, определяющих высотную поясность. Главными климатообразующими факторами на западной части Жетысу Алатау являются: солнечная радиация, состав воздуха и атмосферная циркуляция, их взаимосвязь с абиотическими и биотическими компонентами земной поверхности

Особенности солнечной радиации и атмосферной циркуляции определяют общие климатические закономерности территории. Территория исследований подвергается активным вторжениям воздушных масс северных направлений, задерживаясь в предгорной части и принося ненастную погоду. Вторжение с севера завершается иногда формированием области повышенного давления за счет западных отрогов азиатского антициклона. При сибирском типе атмосферной циркуляции преобладает южный вынос прогретых воздушных масс, создавая дефицит осадков. На фоне этих крупных типов атмосферной циркуляции орографические и инсоляционные особенности территории области обуславливают местные системы циркуляции, такие как горно-долинные ветры, фёновые явления, которые сильно влияют на интенсивность фронтальных процессов, количество атмосферных осадков [115].

Осадки являются одним из основных факторов эрозии и изменения характера и интенсивности осадков могут сильно повлиять на развитие оврагов. Интенсивность осадков является критическим фактором, влияющим на развитие овражной эрозии. Проливные дожди высокой интенсивности могут привести к поверхностному стоку и эрозии почвы, особенно на склонах. Овражная эрозия наиболее распространена в районах с интенсивными дождями [116]. Увеличение интенсивности осадков в связи с изменением климата также могут повлиять на скорость эрозии за счет повышения влажности грунтов.

Продолжительность осадков во времени также увеличивают динамику овражной эрозии. Более продолжительные осадки могут привести к увеличению объемов стока и скорости эрозии, особенно в районах с плохим растительным покровом. Наиболее часто встречаются овраги в районах с высокой продолжительностью осадков [117]. На развитие оврагов сильно воздействует интенсивность осадков, например, обычный ливень, выпадающий раз в 3-5 лет, за 30-40 минут может вызвать такое сильное разрушение почвенного покрова, которое можно сравнить с эрозионной деятельностью стока талых вод за 10-20 лет [3]. Изменения продолжительности осадков в связи новыми климатическими условиями могут насыщать почву и увеличивать сток, что может привести к образованию оврагов.

Частота выпадения осадков способствует активности овражной эрозии. Частые дожди могут привести к более частым явлениям эрозии и более высоким темпам эрозии, особенно в районах с плохим растительным покровом. Овражная эрозия наиболее распространена в районах с высокой частотой осадков [118].

Критическим фактором для активизации овражной эрозии являются ливневые дожди. Во время ливневых дождей линейный рост оврага может достигать величины более половины общего годового прироста. Значимый вклад

в развитии оврагов отмечается в годы с ливневым стоком выше 40-50 мм, что позволяет принимать эти величины в качестве пороговых значений при оценке воздействия ливневого стока на динамику овражной эрозии.

Распределение осадков по территории является одним из условий оврагообразования. В природе неравномерное распределение осадков приводит к локализованным областям высокой скорости эрозии, особенно в районах с неустойчивыми свойствами грунтов и со слабым растительным покровом. Исследование, проведенное на юго-востоке США, показало, что овражная эрозия наиболее распространена в районах с неравномерным распределением осадков, особенно в районах с плохо дренируемыми почвами [117]. Изменения в распределении осадков в связи с последними климатическими преобразованиями влияют на динамику овражной эрозии на нехарактерных районах оврагообразования.

Атмосферные осадки на равнинной части Жетысу Алатау относительно слабо изменяются от места к месту, среднее годовое их количество варьирует от 200 до 250 мм. Засушливость климата на равнинной территории проявляется в небольшом количестве атмосферных осадков, сумма которых уменьшается от западной части хребта Малайсары до плато Итжон около 200 мм в год. Восточнее в сторону предгорья и гор Жетысу Алатау среднее годовое количество осадков увеличивается до 500 мм [119]. Около 70-80% осадков приходится на весенние и осенне-зимние месяцы. Образование снежного покрова на равнинах происходит преимущественно с середины ноября, таяние - с марта. Суммарное количество атмосферных осадков за 2013-2017 гг. показано на рисунке 2.1. При анализе внутригодового распределения осадков можно увидеть, что максимальные осадки по наблюдениям близ расположенной метеостанции (Капшагай) приходятся весной на апрель-май и осенью на октябрь-ноябрь месяцы. За эти месяцы приходится основной этап эрозионной активности изучаемых оврагов. При этом в другие месяцы теплого сезона активность овражной эрозии может усиливаться из-за обильных осадков, где интенсивность осадков высокая. Активное развитие овражной эрозии по климатическим факторам происходит во время редких, но сильных ливней. Во время ливней овраги растут по вершинам и по глубине вреза, после чего во время засухи наступает период замедления роста. Основной причиной этих процессов является глобальное изменение климата. По данным журнала "Geophysical Research" (США), половина размера осадков достигает всего 12 дней в году, а к концу века эта цифра уменьшится до 11 дней. В общее количество осадков несоразмерно вносят вклад несколько дней с проливными дождями, а большинство дней с небольшими морозящими порциями способствуют гораздо меньше. Эти данные основаны на 185 метеорологических станциях за 1999–2014 годы и спутниковых данных по измерению тропических осадков (Tropical Rainfall Measuring Mission) [120]. Эти климатические изменения приведут к большим наводнениям и множеству других последствий в рельефной среде.



Рисунок 2.1 – Суммарное количество атмосферных осадков

Устойчивый снежный покров формируется на западе в сторону долины р. Иле в начале декабря, а разрушается в конце февраля. На восточной части района исследования с повышением высот над уровнем море устойчивый снежный покров формируется в конце ноября, а разрушается в конце марта. Снежный покров равнин характеризуется непродолжительным залеганием 80-100 дней, а в горной части на западе района 140-160 и более дней. Высота снежного покрова варьирует в среднем от 10 до 20 см на западе района исследования и 40 см и выше на востоке в горной части. Запас воды в снеге от 40 мм западе района и 200 мм и более на востоке в горной части [115, стр.66-68]. Снеготаяние является важнейшим компонентом гидрологического цикла в холодных и горных регионах, где на него может приходиться значительная часть годового стока. Таяние снега способствует развитию овражной эрозии, особенно в сочетании с другими факторами, такими как уклон, свойства почвы и землепользование.

На развитие овражной эрозии влияет также глубина промерзания почвы. Глубина промерзания почв в западной части Жетысу Алатау для формирования стока на водосборах оврагов должна составлять не менее 0,4-0,5 м, для исследуемой территории составляет от 1 м до 1,25 м [121].

Осадки являются критическим фактором, влияющим на развитие овражной эрозии. Интенсивность, продолжительность, частота и распределение осадков являются важными факторами, которые могут влиять на скорость овражной эрозии, и изменения любого из этих факторов могут оказать существенное влияние на развитие оврагов. Понимание взаимодействия между этими факторами имеет решающее значение для разработки действенных мероприятий предотвращения овражной эрозии и борьбы с ней, особенно в условиях продолжающегося изменения климата.

Температура может оказывать существенное влияние на развитие овражной эрозии как прямо, так и косвенно. Высокие температуры могут увеличить скорость эвапотранспирации, что приведет к высыханию грунтов и повышению уязвимости к эрозии. Напротив, низкие температуры могут замедлить рост растений и развитие корневой системы, что может ослабить структуру почвы и повысить подверженность ее эрозии. Доказано, что скорость эрозии почвы

увеличивается с повышением температуры в засушливых и полузасушливых регионах Китая [122]. Скорость овражной эрозии в значительной степени коррелирует со среднегодовой температурой, при этом самые высокие скорости эрозии наблюдаются в районах со среднегодовой температурой выше 15°C.

Высокие температуры могут привести к тому, что почва станет более плотной и менее проницаемой, что может увеличить поверхностный сток. В исследовании использовалась комбинация полевых измерений и данных дистанционного зондирования для анализа взаимосвязи между температурой и овражной эрозией. Скорость овражной эрозии была самой высокой в самые теплые месяцы года [123]. В частности, среднегодовая скорость эрозии оврагов составляла 3,5 м/год, а самые высокие скорости эрозии наблюдались в июне и июле, когда температура была самой высокой.

В другом исследовании, где использовалась комбинация полевых измерений и моделирования для анализа взаимосвязи между температурой и эрозией оврагов, и было обнаружено, что скорость эрозии оврагов была самой высокой в периоды высокой температуры и малого количества осадков. В частности, исследование показало, что скорость эрозии оврагов была самой высокой в июле и августе, когда температура была самой высокой, а количество осадков было самым низким [124].

Колебания температурного режима также могут привести к циклам замерзания-оттаивания грунта, приводящее к смещению частиц почвы и способствующее развитию эрозии. Обычно скорость овражной эрозии увеличивается в периоды быстрых колебаний температуры.

Годовой ход среднемесячной температуры западной части Жетысу Алатау достаточно четко разделяет холодный и теплый период года. Самым холодным месяцем является январь, средняя температура воздуха колеблется от -8°C до -10°C, самый теплый месяц – июль +21°C +24°C. В январе на горной и предгорной части в зависимости от абсолютных высот средняя температура: 500 м -7,5°C; 1000 м -6°C; 1500 м -7,5°C; 2000 м -12°C. В июле средняя температура на горной и предгорной части на высотах: 500 м +24°C; 1000 м +22°C; 1500 м +18°C; 2000 м +14°C. По мере увеличения абсолютной высоты температурный фон на каждые сто метров понижается на 0,6°C.

Регион характеризуется значительными внутригодовыми колебаниями температуры воздуха. В зимний период температурный фон более ровно изменяется с севера на юг от -18°C до -11°C, с резким уменьшением в предгорной части до -9-6°C. Последние весенние заморозки заканчиваются с 10 по 30 апреля в предгорьях и равнинах, а в горной части до 10 мая. Первые осенние заморозки наступают с 30 октября в предгорьях и равнинах, а в горной части с 10 сентября.

Продолжительность безморозного периода со средней суточной температурой воздуха выше 5°C (начало вегетационного периода) составляет 120-200 дней. В течение года продолжительность солнечного сияния на равнинах области преобладает и составляет 2700-2900 часов [115, стр. 57-61; 125].

Количественные данные в разных исследованиях подтверждают идею о том, что температурный режим является важным фактором развития овражной эрозии, особенно в регионах с сезонными колебаниями температуры. Понимание взаимосвязи между температурой и овражной эрозией имеет решающее значение для разработки эффективных стратегий предотвращения и управления эрозией в таких регионах. Необходимы дополнительные исследования для дальнейшего выяснения этой взаимосвязи и определения наиболее эффективных стратегий управления.

Ветер является менее изученным, но важным климатическим фактором, который может влиять на овражную эрозию. Сильные ветры могут вызвать ветровую эрозию почвы, удаляя верхний слой почвы и обнажая недра, которые затем могут переноситься водным стоком. Ветровая эрозия также может привести к образованию небольших оврагов и каналов, которые со временем могут сливаться, образуя более крупные овраги [126]. Обнаружено, что ветровая эрозия внесла значительный вклад в овражную эрозию в районе Лёссового плато в Китае [127]. Под воздействием дефляции, почвы, теряя верхний слой, становятся более восприимчивыми к водной эрозии. Следовательно, ветровая эрозия может ускорить овражную эрозию и сделать ее более серьезной.

Также ветер влияет на морфологию оврагов. Ветер создает различные малые элементы эрозии, такие как бороздки и канавки, которые могут изменять форму и размер оврагов [128]. Кроме того, ветер влияет на направление и выравнивание оврагов. В дальнейшем направление могут оказать влияние на форму оврагов. Следовательно, ветер может формировать морфологию оврагов и влиять на их развитие.

Ветровой режим равнинной части области характеризуется преобладанием ветреной погоды в течение всего года, с преобладанием ветров северных румбов. По направлению к горам скорости ветра постепенно снижаются: с 4,5-5,5 м/сек, с повторяемостью 22 % до 2-3 м/сек, с повторяемостью 14% в предгорных районах. Через Жетысуские ворота дует ветер эби, а в противоположном направлении – сайканский ветер. Ветер эби возникает в результате соприкосновения циклона, расположенного в горных хребтах Жетысу Алатау – Берликтау и Майлытау, и антициклона, расположенного севернее Жетысуских ворот. Ветер эби – восточный, теплый, скорость его – 60-80 м/с, дует 1-2 суток, иногда не прекращается 3-7 суток. Сайканский ветер холодный, дует с Сайканских гор в сентябре-апреле [115, стр. 57-71; 129]. Отличительный ветровой режим горных районов, где формируются склоновые и горно-долинные ветры, при которых в ночное время суток более холодные воздушные массы стекают на предгорные равнины, а дневное время нагретый воздух предгорий поднимается по долинам и ущельям вплоть до высокогорий.

Нельзя не учитывать влияние ветра на растительный покров, который удерживает почвенный покров. При вздувании растительности уменьшается плотность почвы и соответственно становится более уязвимой для эрозии и в свою очередь может увеличить скорость развития оврагов. Следовательно, меры по борьбе с ветровой эрозией должны быть реализованы для смягчения

овражной эрозии, а восстановление растительности должно быть приоритетом в борьбе с овражной эрозией на территориях, подверженных ветровой эрозии.

Влияние гидрометеорологических параметров на формирование оврагов в период весеннего снеготаяния носит более комплексный характер. Таким образом, при определенных условиях наиболее активно овраги растут в период весеннего снеготаяния, где наибольшая роль принадлежит подснежным потокам. В целом на развитие овражной эрозии в западной части Жетысу влияют характер и интенсивность выпадения осадков, запасы воды в снеге, температурный режим воды и воздуха, фильтрационные свойства почвы и особенности растительного покрова. Климатический фактор не может быть ведущим, так как процесс формирования оврага и его развития зависит от множества факторов и их взаимоотношений.

2.3 Почвенно-растительные факторы

Почвы. Почвенный покров играет значимую роль в развитии эрозионных процессов, поскольку он первым испытывает влияние склонового стока. Эрозия почвы является серьезной проблемой, влияющей как на продуктивность сельского хозяйства, так и на качество окружающей среды. Овражная эрозия представляет собой опасную форму эрозии почвы, которая может привести к обширной деградации земель, потере питательных веществ в почве и образованию отложений в нижних водотоках. Овражная эрозия может возникать во всех типах почв, но на тяжесть и степень овражной эрозии влияют разные свойства почвы. К ним относятся – водопроницаемость, влагоемкость, структурность, механический состав, мощность гумусового слоя и процент содержания гумуса, состав почвенного комплекса, содержание карбонатов, а также другие характеристики.

По свойствам почв более песчаные почвы склонны к овражной эрозии из-за их низкой водоудерживающей способности, низкого содержания органического вещества и низкой проницаемости [130]. Во время сильных осадков на песчаных почвах вода быстро стекает с поверхности, в результате чего частицы почвы смещаются и переносятся вниз по течению. Исследования показали, что присутствие песка в почве может увеличить овражную эрозию до 300 % [131]. Кроме того, песчаные почвы также подвержены ветровой эрозии, которая может еще больше дестабилизировать поверхность почвы. С другой стороны, глинистые почвы менее подвержены овражной эрозии из-за их высокой водоудерживающей способности и низкой проницаемости [133]. Плотные глинистые почвы имеют пониженную скорость инфильтрации, в результате чего вода скапливается на поверхности почвы и увеличивается сток. Исследования показали, что присутствие глины в почве может снизить овражную эрозию до 50% [131]. Суглинистые почвы по своим физическим свойствам занимают промежуточное положение между песчаными и глинистыми. Суглинистые почвы склонны к овражной эрозии, когда они имеют низкое содержание органического вещества, а их структура нарушена уплотнением в следствии чрезмерного выпасом скота [133].

Почвенный покров на исследуемой территории разнообразен. Это обусловлено различиями климата, высотностью рельефа, подстилающих пород и растительности. Преобладают здесь степные и пустынные почвы: сероземы, черноземы, каштановые, бурые, серо-бурые и пески. На равнинах почвы имеют зональное распространение, а в горных районах они изменяются в вертикальном направлении. Важной особенностью почвенного покрова, кроме вертикальной зональности является неоднородность, большая комплексность и широкое распространение интразональных почв - солонцов, разной степени засоленных почв. На умеренно теплых предгорных равнинах Жетысу Алатау сформированы светло-каштановые почвы, на теплых влагонестойчивых, умеренно-континентальных предгорьях темно-каштановые и горные темно-каштановые почвы. На подгорных равнинах, простирающихся у подножия Жетысу Алатау, и на предгорьях на высотах от 200 до 800 м распространены своеобразные почвы – сероземы. Они развиваются преимущественно на лёссах в условиях засушливого лета и влажной весны, там, где выпадает не менее 300 мм осадков. На высоте от 200 до 350 м формируются светлые сероземы, до 500 м – обыкновенные. Почвенный покров прилегающей территории хребта Малайсары представлен сероземами северными светлыми (Приложение К.1). На исследуемой территории сероземы классифицируются на обыкновенные и светлые. Обыкновенные сероземы занимают область лёссовых предгорий. Светлые сероземы залегают несколько дальше от гор, располагаясь иногда по периферии песков. Они могут иметь более легкий механический состав и содержат несколько меньшее количество гумуса (не более 1%).

Профиль сероземов характеризуется серовато-светло-бурыми тонами окраски гумусовых горизонтов (более серыми сверху и более бурыми снизу), комковатой структурой с большим или меньшим количеством зернистых агрегатов, образованных дождевыми червями; присутствием в нижней части гумусовых горизонтов и глубже земляных коконов; хорошо выраженным карбонатно-иллювиальным горизонтом с белоглазкой, располагающимся обычно под гумусовым; отсутствием признаков солонцеватости, засоления и повышенного увлажнения. На более легких и более песчаных породах они ближе к бурым пустынным почвам, а на лёссовидных суглинках – к сероземам северным обыкновенным. При этом само распространение лёссовидных пород приурочено к более увлажняемым регионам, с чем и связаны более богатая растительность и присутствие дождевых червей в сероземах.

Черноземы выщелоченные характеризуются гумусовым профилем А + В мощностью 80–120 см. Собственно гумусовый горизонт А мощностью 40 см, в том числе А1 – 16 см, темно-серого (почти черного) цвета, густо переплетенный корнями, крупнозернистой структуры; много капролитов. Содержание гумуса – 13–9%, к низу резко снижается при отношении углерода гуминовой кислоты (C_{1K}) к углероду фульвокислоты ($C_{фк}$), равном 0,9–1,2, общего азота – 0,8–0,3% (при $C : N = 9 - 12$), валовых P_2O_5 –0,36–0,16 и K_2O – 2,6–2,8%; сумма поглощенных оснований составляет 50–44 мг.экв. Почва вскипает с 80–115 см, максимум карбонатов (11,5% CO_2) отмечается на глубине 150 см [133].

Предгорно-степная зона располагается на высоте 800–1400 м. Под типчаково-ковыльной растительностью (с разнотравьем и кустарниками) залегают темно-каштановые почвы, под богатый разнотравно-злаковой растительностью с кустарниками (пырей, костер, ежа, мятлик, молочай, солодка, шиповник) на высоте 1200–1400 м в небольшом количестве залегают среднегумусные черноземы.

Карбонатные черноземы развиваются на карбонатных и гипсоносных глинах, имеют плохую структуру, при высыхании растрескиваются и в засушливые годы подвергаются ветровой эрозии.

Темно-каштановые карбонатные почвы характеризуются гумусовым профилем А + В темно-серого или темно-бурого цвета мощностью 35–70 см с довольно развитым собственногумусовым горизонтом А; последний достигает 28–30 см и имеет комковато-зернистую или пороховато-плоскокомковатую структуру. Переходный горизонт делится на два подгоризонта (В₁ и В₂); первый из них – бурый с каштановым оттенком, уплотненный, комковатой структуры, второй – серо- или грязнобурый. Глубже залегает светло-бурый (С₁) и палево-бурый (С₂) лёссовидный суглинок с обильным выделением углекислых солей в виде белесых прожилок (СО₂ карбонатов составляет 5–6%). Прожилки гипса начинаются с глубины 43 см. Механический состав почвы – средние и тяжелые суглинки.

Физические и водно-физические свойства: объемный вес – 1,16–1,25 г/см³, удельный вес – 2,58–2,67, общая порозность – 55–52%, водопроницаемость – 50–60 мм/ч; соответствующий ППВ запас влаги равен 382 мм, в том числе продуктивной влаги – 259 мм [134].

На конусах выноса развиты темно-каштановые выщелоченные почвы. Темно-каштановые почвы используются под богарные посевы озимой пшеницы. На поливе возделывают озимую пшеницу, сахарную свеклу, овощи, картофель, табак, разводят сады.

Предгорная пустынно-степная зона расположена на высоте 500–800 м над ур. м. с поясами светлых малокарбонатных сероземов (500–600 м) под эфемероидно-полынной (белая полынь, мятлик, осочка) растительностью с терескеном, эбелеком и др.; обыкновенных сероземов (600–700 м) под эфемероидно-злаково-полынной (белая полынь, костер, мятлик, мак) растительностью с изенем, эбелеком и др.; светло-каштановых почв (700–800 м) под эфемероидно-типчаково-полынной растительностью (типчак, мятлик, полынь, осочка, шалфей).

Светло-каштановые почвы имеют сверху буровато-серый, слабоуплотненный подгоризонт А₁ комковато-пороховатой структуры, мощностью 5–6 см, глубже – до 24–25 см – буровато-темно-серый корешковатый горизонт А₂ мелкокомковатой структуры. Подгоризонт В₁ и В₂ серо-бурого цвета, уплотненный, комковатопороховато-пылеватой структуры. Ниже этих подгоризонтов (60–130 см) залегает лёсс. Новообразования углекислых солей – в виде белесых прожилок, пятен и глазков. В пахотном слое имеются капролиты червей. Механический состав – средние и тяжелые суглинки [135].

Светло-каштановые карбонатные почвы характеризуются мощностью гумусового профиля А + В, равной 35–50 см. Гумусовый горизонт А светло-каштанового цвета, зернисто-комковатой структуры, мощностью 15–25 см с содержанием гумуса 2,5–1,7% и емкостью поглощения 20–15 м г-экв па 100 г почвы. Горизонт В бурой окраски, комковатой структуры, мощностью 20–15 см. Выделения карбонатов происходят на глубине 35–75 см в виде жилок, стяжений и журавчиков; гипс в кристаллах попадает на глубине 75–100 см, реакция почвы щелочная, рН – 7,6–8,5. На этих почвах развито малообеспеченное осадками богарное и частично поливное земледелие.

Серо-бурые почвы имеют палево-серую трещиноватую пористую корочку, внизу слоистую, мощностью 5–10 см, вскипают от кислоты. Ниже расположен серый подкорковый подгоризонт слоегато-чешуйчатого сложения, далее – бурый, плотный (5–10 см) слабокомковатый слой с корочкой углекислых солей, затем светло-бурый уплотненный слой (15–25 см), с белесыми пятнами карбонатов и гипсовый горизонт (25–75 см), где гипс встречается в виде волокнистоноздреватых скоплений желтовато-бурого цвета. Содержание гумуса 1,3–0,2%, общего азота – 0,06–0,03 и валового фосфора – 0,15–0,12%. Содержание гипса на глубине 40–80 см 14–40% и CO₂ карбонатов – 4–7% [133]. Это пастбищные угодья.

В зоне пустынь (750–350 м над ур. м.) формируются серо-бурые, бурые, сероземы северные, лугово-сероземные и такыровидные почвы.

Лугово-сероземные почвы формируются на средней и нижней частях предгорной равнины на лёссовидных суглинках в условиях неглубокого (1,5–3,0 м) залегания грунтовых вод под злаково-разнотравной растительностью.

От сероземов эти почвы отличаются значительной мощностью гумусового профиля (А + В = 50–70 см) и повышенным содержанием гумуса в горизонте А, а также наличием в нижней части профиля признаков оглеения (охристо-ржавые новообразования железа). Имеются солонцевато-солончаковые роды почв [134].

Зона предгорной пустынной равнины с такырами, песками, такыровидными, лугово-болотными, аллювиально-луговыми почвами и солончаками расположена на высоте 340–500 м над ур. м. Основная часть почв земледельческого значения не имеет.

Пойменно-луговые почвы формируются на аллювиальных отложениях в долинах реки Иле и под вейниковыми и тростниковыми лугами. Вскипание почвы начинается с поверхности. На поверхности заметны выделения солей, а с глубины 50 см – окиси железа в виде ржаво-бурых пятен. В слое от 0 до 10 см почвы серые, слабозадерненные, рыхлые, ниже, начиная с 10–25 см, – светлый, влажный, комковато-пороховатый суглинок с выделениями солей; глубже (25–45 см) залегает более гумусированный, рыхлый, комковатый слой с мелкой зернистостью, с 45–110 см – желтовато-бурый суглинок с прожилками солей и окиси железа. Содержание гумуса 2,0–1,1, карбонатов – 6–13% [134]. На этих почвах развито орошаемое земледелие (рис, сахарная свекла, овоще-бахчевые) и молочное животноводство.

Луговые почвы формируются на аллювиальных отложениях в речных долинах рек Иле, Мукур и др., по лиманам и более мелким понижениям, в тех

местах, где накапливается больше влаги. Верхний горизонт темной окраски, но мощность его невелика - обычно не более 15-20 см.

Пески занимают значительную часть исследуемой территории. Среди них преобладают бугристые формы (юг) и пологогрядовые (север). Растительность представлена эфемерово-эфемероидно-полынными сообществами. На вершинах бугров и гряд встречаются терескен и джузгун. Кроме форм рельефа пески разделяются по степени закрепления растительностью – закрепленные, слабозакрепленные и незакрепленные (барханные) [135].

Развитие овражной эрозии на исследуемой территории приурочено к районам распространения сероземов. В связи с тем, что сероземы отличаются незначительной мощностью гумусового профиля и низким содержанием гумуса в горизонте А, растительность на них произрастает более скудно и разреженно, нежели на каштановых или черноземных почвах. Овражная эрозия наиболее распространена на территориях с сероземными почвами, это речные долины, адыры, предгорья и низкогорья.

Овражная эрозия представляет собой опасную форму эрозии почвы, которая может привести к обширной деградации земель, потере питательных веществ в почве и образованию отложений в нижних водотоках. Почвы западной части Жетысу Алатау отличаются сравнительно слабой противоэрозионной устойчивостью в связи преимущественно в их строении пылеватых фракций, низким содержанием гумуса и низкой оструктуренностью верхних почвенных горизонтов.

Растительность. Растительный покров является фактором, способствующим замедлению протекания эрозионных процессов. Его суть заключается в смягчении ударной силы дождевых потоков, снижении их скорости, равномерном распределении снежного покрова и дождевых осадков. Корневая система древесной и древесно-кустарниковой растительности в значительной степени повышает сцепные качества грунта [136]. Причем охрану почвы несут как надземные, так и подземные органы растений. Вегетативная масса, в основном листья, защищает почву от разрушительной силы дождевых капель. А корневые системы растений скрепляют почвенные частицы, препятствуя тем самым размыву и смыву почвы.

Влияние растительности на овражную эрозию широко изучалось и исследования показывают, что растительность может значительно уменьшить развитие и опасность овражной эрозии. Например, наличие растительного покрова значительно сократило длину и глубину оврагов на Лёссовом плато в Китае. Густая растительность снижает эрозионную способность осадков за счет увеличения инфильтрации и уменьшения поверхностного стока. В частности, средняя глубина оврагов и промоин в районах с высоким растительным покровом составила 0,86 м, а средняя глубина в районах с низким растительным покровом – 1,23 м [137]. Такое же исследование в Эфиопском нагорье обнаружили [138], что овражная эрозия была значительно менее губительной в районах с более высоким растительным покровом. Установлено, что максимальная глубина оврагов на участках с высоким растительным покровом

составила 0,56 м, а максимальная глубина на участках с низким растительным покровом – 1,76 м.

Согласно карте растительности (Приложение Л.1) на территории исследований растительный покров представлен субнивальной, степной горной, пустынной равнинной растительностью, ксиритными лугами, лесами горными, растительностью долин рек и побережий водохранилища Капшагай. Основная часть равнинной части исследуемой территории занята эфемероидно-злаково-полынной (*Artemisia semiarida*, *A.heptapotamica*, *A.sublessingiana*, *Stipa sareptana*, *S.richteriana*, *Poa bulbosa*), житняково-белоземельнополынной, житняковой (*Artemisia terrae-albae*, *Agropyron fragile*, *Carex physodes*, *Poa bulbosa*, *Ephedra lomatolepis*) и псаммофитнокустарниковой (*Calligonum aphyllum*, *Atraphaxis replicata*, *Ephedra lomatolepis*, *Ammodendron bifolium*, *Artemisia songarica*, *A.albicerata*, *Dendrostellera arenaria*, *D.ammodendron*), тасбиюргуновой (*Nanophyton erinaceum*), саксаульчиковой (*Arthrophytum iliense*, *A.balchaschense*), злаково-полынной с эфемероидами (*Artemisia heptapotamica*, *A.semiarida*, *Stipa sareptana*, *S.richteriana*, *Poa bulbosa*), многолетнесолянковой, петрофитно- и псаммофитнокустарниковой, эфемероидной, галофитнокустарниковой, галофитнозлаковой растительностью.

Разнообразие пустынных сообществ обусловлено почвенно-литологическими условиями и вертикальной расчлененностью рельефа. Для предгорных районов характерна степная растительность. Типичная и наиболее распространенная растительность зоны серо-бурых почв белая и черная полынь, кохия, биюргун, верблюжья колючка, кермек, различные солянки. Весной на очень короткий срок появляются эфемеры. Из древесно-кустарниковой растительности произрастает саксаул, чингиль, тамариск.

В речных долинах растительность представлена межгорно-котловинными кустарниково-лоховыми тугаями, редколесьями, лугами, тростниковыми, галофитносолянковыми, галофитнокустарниковыми сообществами, предгорными лугами, чиевниками и кустарниковыми зарослями.

Растительность является ключевым фактором в предотвращении и смягчении эрозии почвы, в том числе овражной. Благодаря своей корневой системе растительность помогает связывать частицы почвы вместе, улучшая структуру и устойчивость почвы. По разным данным скорость эрозии снижается от 60% до 75% в районах с более высоким растительным покровом [139-142]. Увеличение растительного покрова с 20% до 80% снижает скорость эрозии до 90% [143]. Травянистая растительность с глубокой и густой корневой системой более эффективно снижают овражную эрозию, чем кустарники с мелкими корнями [144]. Наличие растительного покрова играет решающую роль в стабилизации почв, уменьшении поверхностного стока и увеличении скорости инфильтрации, что необходимо для предотвращения эрозии оврагов. Доказано, что территории с более высоким и плотным растительным покровом менее подвержены овражной эрозии. Таким образом, усилия по предотвращению и смягчению овражной эрозии должны быть направлены на восстановление и поддержание растительного покрова, особенно в районах с высоким риском эрозии. Растительный покров может уменьшить или полностью предотвращать

развитие водной и ветровой эрозии. Чем лучше развит растительный покров исследуемой территории и выше покрытие им почвы, тем слабее эрозионные процессы. В районах, где есть естественный растительный покров, почва может восстанавливаться, поскольку процесс почвообразования в естественных условиях не прекращается.

2.4 Антропогенные факторы

Вместе с природными эндогенными и экзогенными факторами на геологическую среду оказывает влияние человеческая деятельность, что приводит к возникновению антропогенных процессов. Механизм развития антропогенных процессов тот же, что и при проявлении природных рельефообразующих процессов, но главное их отличие – большая скорость развития. В следствие антропогенных процессов практически вся геологическая среда в той или иной степени находится в измененном состоянии, т.е. от естественного природного равновесия. Особенно сильно это равновесие нарушено на территориях интенсивного развития добычи ископаемых, промышленных зон, сельскохозяйственных угодий и на урбанизированных территориях.

Исследованиями многих ученых доказано, что к наиболее существенным условиям оврагообразования относится антропогенная деятельность. Влияние антропогенного фактора на формирование оврагов очень многообразно. Основываясь на классификацию техногенных процессов, предложенную С.К. Гореловым и др. (1990) [145], антропогенные факторы на рельеф можно разделить на 3 группы: климатической обусловленности, геологической обусловленности и факторы, обусловленные со строительством сооружений и домов.

К группе антропогенных факторов с климатической обусловленностью можно отнести распашку земель, агрокультурную деятельность, орошение, высаживание деревьев, лесозаготовку, пастбища и другие факторы, связанные с сельскохозяйственными работами. Это группа факторов связана с климатическими зонами и видами сельскохозяйственных работ и зависит от определенных гидрометеорологических условий территорий. Антропогенные факторы с климатической обусловленностью, в основном, способствуют перераспределению гидрометеорологических условий районов и изменяют свойства почв, в частности, ее противоэрозионную устойчивость.

К наиболее распространенному фактору с климатической обусловленностью относится распашка земель, ведущая к изменению многих гидрометеорологических условий районов. В пределах Жетысу из всех видов человеческой деятельности, наибольшей степенью способствующая развитию овражной эрозии, является сельскохозяйственное использование земель, а именно распашка земель. В территориях орошаемого земледелия сельскохозяйственная деятельность значительно повысила интенсивность экзогенных процессов, в частности, развития оврагообразования. К сельскохозяйственному виду относятся пашни и пастбища, оросительные

каналы, арыки, которые также оказывают влияние на развитие овражной эрозии.

Территория Жетысу на протяжении тысячелетий являются местом хозяйственной деятельности человека, что обусловлено их благоприятными природными условиями [146]. По хозяйственному освоению сведения о доисторическом периоде на территории Жетысу довольно отрывочны. На основании имеющихся данных можно предполагать, что земледелие существовало в плодородных долинах крупных рек, а население было в большинстве кочевые племена, занимавшиеся в основном скотоводством. Значительные пахотные земли начали появляться только в течение XX в., но освоение шло весьма активно. В целом в пределах Жетысу, из-за большой средней крутизны и длины склонов, широкомасштабная распашка стала возможной только с внедрением более мощной и совершенной сельхозтехники в 20-40-е годы XX в. Этот период (1925-1941) совпал по времени с коллективизацией сельского хозяйства в КССР и обработкой значительно больших по площади земельных угодий. В течение первых нескольких десятилетий после Второй Мировой войны с появлением современных сельскохозяйственных техники были освоены уже практически все пригодные для обработки земли, где почти площади пашни достигли современных площадей.

Развитие сельского хозяйства в последнее столетия в пределах Жетысу, в том числе интенсивная распашка территории при высоком эрозионном потенциале осадков, значительных длинах и уклонах склонов, и широком распространении почв на легкоразмываемых лессовидных покровных отложениях не могла не привести к интенсификации эрозионных процессов. Освоение горных пастбищ и распашка земель под садовые и другие культуры приводят к разрежению растительного покрова из-за выпаса скота и вырубки леса, что способствует усилению плоскостного смыва и овражно-промоинной эрозии [14].

В Жетысу пастбища составляют 68,7%. Обычно пашни занимают сплошную полосу в равнинах, предгорьях, низкогорьях и в межгорных впадинах. Распашка земель привела к изменению естественного облика рельефа и частичной исчезновению естественной растительности. Для обслуживания пашни используют густую сеть оросительных каналов, в следствии почвы потеряли агрегатные связи и легко подвергаются ветровой и водной эрозии. Динамика денудации поверхности пашни по причине стока талых вод изменяется от 0,1 до 4,6 мм/год, что в 10-380 раз превышает денудацию на равнинных территориях (0,012-0,032 мм/год) в естественных условиях.

Встречаются многочисленные овражные образования на четвертичных аллювиально-пролювиальных конусах выноса, сложенных на поверхности лессовидными суглинками. Происхождение этих оврагов связано с прорывом воды из каналов, арыков и беспорядочным сбросом ирригационных вод. Зачастую на легкоразмываемых лессовых и суглинистых почвах протянуты оросительные каналы. В равнинах и предгорьях не бетонированные и неукрепленные стенки каналов легко размываются и подвергаются к донной эрозии. Обычно длина арыков от десятков метров до нескольких километров,

ширина от 5 до 12 м, глубина от 0,5 м до 1,5 м. К примеру, можно отнести образование оврага впоследствии не правильного использования канала на восточных окраинах с. Коктума (Приложение М.1). Морфометрические параметры оврага: 130 м, глубина 8-8,5 м, ширина в середине 23 м, глубина в начале 4,7 м, а в базисе 9 м. Рост оврага за один год составлял 45 см.

На территории Жетысу каналы и арыки составляют густую гидрографическую сеть искусственного происхождения. В развитии сельского хозяйства водные каналы имеют колоссальное значение, но, с другой стороны, они расчлениают рельеф, способствуют развитию рытвин, промоин, оврагов, промоин и т.д.

В Жетысу на ранее традиционно занятых пастбищами территориях по мере увеличения распашек полей немаловажно влияет распределение пастбищной эрозии, которая вызывается ослаблением дернового покрова выпасом скота. В связи с распашкой территории и оттеснения скотоводства в предгорьях, в сайах, в межгорных впадинах и в долинах рек увеличивается нагрузка на крутые склоны, что способствует развитию эрозионных процессов. Также на многих склонах имеются скотобойные тропы, которые способствуют концентрации стока и часто служат очагами линейной эрозии.

Места пастбищ в Жетысу представляют террасированные склоны, или так называемые «козьи тропы». На некоторых склонах предгорий и долин, из-за частоты «козьих троп» местность становится похожей на распаханное поле. Часто атмосферные осадки, стекая по ним, разрабатывают рытвины, промоины, в некоторых местах в последствии превращая их в овраги. Примером служит овраг на 237 км по трассе Алматы-Оскемен. На территории Жетысу перевыпас скота в пастбищах усиливает ветровую эрозию и дает дополнительный рост оврагам. Сейчас в Жетысу во многих населенных пунктах скот выпасают круглогодично вблизи мест своего проживания, что способствует развитию негативных явлений. Такие ситуации наблюдаются на плато Итжон, Бозой, на южной экспозиций хр. Малайсары и других мест, где идет овражная эрозия. Местное население на этих участках вынуждено выпасать скот рядом населенными пунктами, так как ранее свободные земли и летние пастбища (жайлау) оказались приватизированными и перешли в частные руки.

В долинах рек овражная эрозия проявляется преимущественно в подмывах бортов и на участках сброса оросительных вод. При этом антропогенный фактор оказывается ключевым и может иметь значительные последствия, поскольку практически все реки Жетысу зарегулированы, их долины хозяйственно развиты.

В результате распашки земель уничтожается естественный растительный покров, который приводит к снижению противозерозионной стойкости поверхности почв, соприкасающейся с водными потоками. Также во время распашки земель проводится систематическое рыхление почвы, происходят изменения микрорельефа территорий, вследствие чего создаются искусственное разделение склонов на отдельные водосборы, а именно образование ложбин стока. В результате на территориях с многолетним освоением земель, где происходит расширение площади пашни на склонах, создаются благоприятные факторы для образования сети оврагов. Таким образом, в результате

сельскохозяйственной деятельности в пределах Жетысу зарождаются очаги овражной эрозии.

К группе геологической обусловленности антропогенных процессов относится открытая и подземная разработка коренных и рассыпных полезных ископаемых. Факторы группы геологической обусловленности антропогенных факторов, преимущественно, создают ранее не существовавшие местные базисы эрозии, к ним можно отнести оголенные практически отвесные стенки карьеров, крутые склоны отвалов, воронки проседания и др. Также в результате горнодобывающих работ образуются неестественные рыхлые отложения, неустойчивые к воздействию водной эрозии. Исследователями установлены, что уступы отвалов с уклонами $14-37^\circ$ подвергаются интенсивному смыву и размыву, эти тенденции наблюдаются в первые 3-4 года, когда породы становятся рыхлыми и незадернованными [147]. Более сильной подверженности горных пород в результате деятельности горнодобывающей промышленности процессам линейного размыва остаются еще в течение 15 лет и после приближается к фоновым значениям местности [148]. Проведенный анализ по результатам космических снимков высокого разрешения показал, что при интенсивном воздействии на рельеф горнодобывающей промышленности, она не влияет на распространение овражной эрозии по всему Жетысу, т.е. имеет локальный характер.

Особенности проявления овражной эрозии характерны для третьей группы антропогенных факторов, обусловленных со строительством сооружений и домов, куда можно отнести воздействие при создании водохранилищ, строительстве дамб, прокладка линейных транспортных сооружений, строительство домов и развитие урбанизованных территории. Широко обсуждаются в разных проводившихся исследованиях влияние факторов, обусловленных со строительством сооружений и домов [12, 23, стр. 125-126; 149-152]. Строительство зон отдыха, спортивных комплексов и освоение дачных участков в условиях легко ранимой геологической среды горной области нарушают геологическую среду (карьеры, котловины, террасирование крутых склонов, бесконтрольные поливы земель), в результате возникают искусственные овраги, оплывины и микросели [14].

Развитие овражной эрозии в Жетысу наблюдается вдоль дорог районного, областного и республиканского значения. Строительство и эксплуатация дорожно-транспортной сети, а также не своевременное их обслуживание на территории Жетысу могут привести к значительному преобразованию рельефа. В западной части Жетысу автомобильные дороги (длина по Жетысу – 9 472 км) получили широкое развитие. Вдоль горы и предгорья насыпи чередуются с выемками, по обеим сторонам дороги расположены кюветы, в отдельных случаях превратившиеся в овраги. В горах при прокладке дорог со склонов приходится снимать довольно значительный объем грунта, что, несомненно, оказывает негативное воздействие на данный участок. Грунтовые дороги и тропы имеют самую разветвленную сеть как в предгорной части, так и в горах. Эти дороги во многих местах превращены в пути стока атмосферных осадков и способствуют образованию промоин и оврагов. Например, по трассе

Талдыкорган - Капал, юго-восточнее с. Акансара (Акешки) на северо-восточной экспозиции г. Ешкиолмес, в 30 метрах от трассы простирается антропогенный овраг длиной 350 м, глубиной 4 м и шириной 3,3 м, в целях предупреждения увеличения оврага на подгорной части вырыт дренажный арык, о чем свидетельствует вал между арыком и трассой.

По автомобильной дороге Сарыозек-Хоргос на расстоянии 2,1 км от с. Сарыозек, на левой стороне обнаружен подмыв дорожных полотен, построенных на неогеновых отложениях (рисунок 2.2). Причинами размыва являются: неправильно рассчитанные диаметры водопропускных сооружений под полотнами дорог, не способные пропустить объем поступающей воды (от плоскостного смыва и временного водотока). Дороги, построенные на неогеновых отложениях, испытывают «гидравлический удар» при резком торможении жидкости и турбулентность по направлению потока воды, в результате которого увеличивается эрозионная энергия воды в десятки раз, превышающий нормальный естественный сток (рисунок 2.3). В результате водосточные бетонные кольца провалились в овраг или оказались в висячем положении над ним, глубина оврага составляет 7,4 м, ширина местами доходит до 11,5 м. На четвертичных аллювиально-пролювиальных равнинах, в восточной части Когалинской впадины и по северной экспозиции Жетысу Алатау – от п. Кызылагаш до г. Саркан, широкое развитие получили процессы плоскостной и линейной эрозии. В результате на наклонной стороне автодороги развивается овражная эрозия [153, стр. 134, 137].

В предгорье г. Жуантобе на 237 км автотрассы Алматы – Оскемен образован большой протяженности овраг, длина оврага – 752 м, ширина – 17 м, глубина 4 – 6 м, а на обочине 235-го километра глубина другого оврага составляет 2 м, ширина – 3,8 м и длина – 32 м (мониторинговые исследования, 2013-2017 гг.).



Рисунок 2.2 – Неогеновые отложения, где проходят некоторые участки автодороги Сарыозек-Хоргос

Май 2013 год



Ноябрь 2014 год



Ноябрь 2017 год



Рисунок 2.3 – Разрушенная водопропускная труба на 2,1 км автодороги Сарыозек-Хоргос

Разновременные фотографии в течение нескольких лет дорожного полотна около овражно-саевой сети, снятых во время полевых работ, наглядно показывают деформацию и размыв грунта водной эрозией участка (Приложение М.2). В районе многие автодороги перегородили естественные ложбины, т.е. пути смыва воды накопленных от атмосферных осадков. Данный фактор способствовал образованию глубоких оврагов южнее 2,1 км с. Сарыозек вдоль автодороги Сарыозек-Хоргос. Во время обильных осадков накопившая вода вдоль дорог не успевает проходить через дорожные водопропускные трубы, где эрозионная энергия воды увеличивается до десяти раз. Эти действия приводят к размыву дорожного полотна, разрушению водопропускных труб и в итоге к

образованию более глубоких антропогенных оврагов. Кроме того, на данном участке слагающими породами являются неогеновые отложения, которые более подвержены размыву водной эрозией. Все эти факторы только ускоряют формирование рельефа овражного типа вблизи населенных пунктов района [154].

Значительным антропогенным фактором появления оврагов является нарушение баланса водного потока, условий стока поверхностных вод и водосборной площади склонов, где до конца не продуманы расположение и функционирование дорожно-транспортной сети. В результате чего появляются эрозионные формы размыва (промоины и овраги) по полотну и кюветам грунтовых дорог, так называемые кюветные овраги, располагающиеся вдоль дороги. На территории Жетысу кюветные овраги начали возникать 50-60-е годы XX века с развитием автодорог и с увеличением количества автотранспорта. Сейчас вдоль автомобильных дорог Жетысу часто стали встречаться кюветные овраги, они на первый взгляд мало заметны, так как зарастают растительностью. Кюветные овраги Жетысу обычно имеют глубину 1-1,5 м, ширину 1-2 м и длину от десятков до сотни метров, но встречаются экземпляры и с большими параметрами. На рисунке 2.4 отражена часть зафиксированных нами кюветных оврагов.



Рисунок 2.4 – Кюветные овраги Жетысу вдоль автодорог

Для наблюдения динамики овражной эрозии с помощью разновременных космических снимков нами была выбрана вершина кюветного оврага (рисунок 2.5) (3 км юго-западнее с. Мукур, западной стороне 235 километра автодороги

А350). Длина кюветного оврага (отвершки овражно-саевой сети) 850 м, крутизна склонов варьируется от 1° до 9,9°, литологический состав – лессовидные суглинки. За 13-летний период наблюдения с 2003 по 2016 гг. прирост вершиной части оврага, составляет 11,82 метра и площадное развитие 0,46 га. Дальнейший рост данного оврага создает очень серьезную угрозу для автодороги республиканского значения А350.

Разностороннее описание кюветных оврагов проводил в своих исследованиях Д.Л. Арманд [4]. Кроме того, под углом к действующим дорогам образуются овраги переходов (дюкерные). Часто придорожные дюкерные овраги являются продолжением естественных оврагов, лощин или ложбин на противоположной стороне дороги, где был проложен дюкер для защиты дороги. При не правильном расчете пропускной способности дюкера или дренажных труб излишний поток воды на выходе может привести образованию оврагов. Кюветные и дюкерные овраги создают угрозу безопасности при использовании и уменьшают эксплуатационные сроки дорог, размывая основание и полотно.

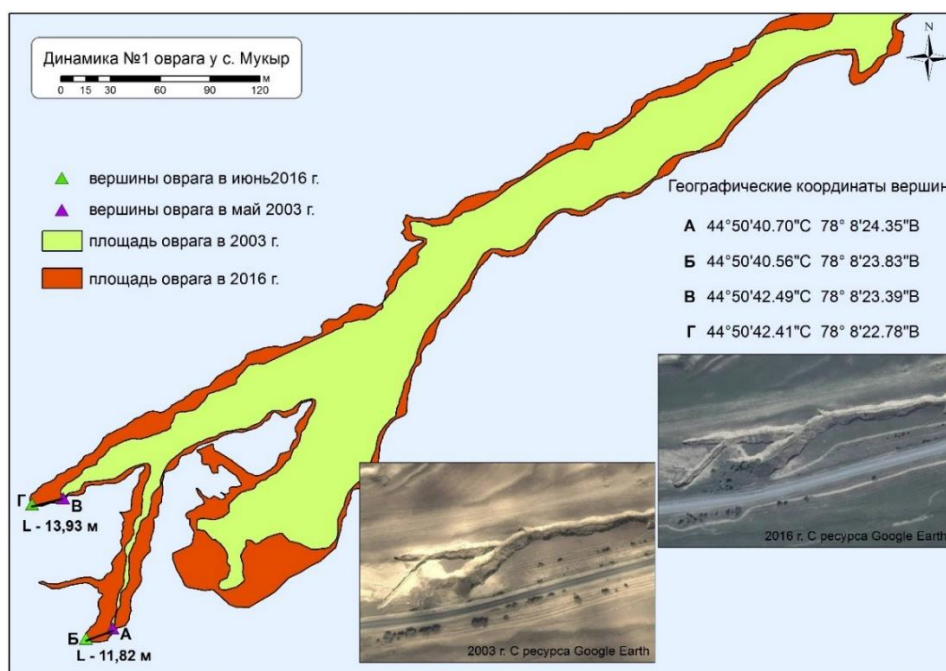


Рисунок 2.5 – Рост вершины и площадное развитие кюветного оврага вдоль дороги А350

С техническим прогрессом и ростом численности населения увеличиваются территории населённых пунктов, преобразовывая естественный рельеф местности. Вместе с тем, рост урбанизированных территорий приводит к все большему конфликту населенных пунктов с рельефом. Это связано с зависимостью населенных пунктов от инженерно-геологических и геоморфологических процессов, протекающих на этих территориях.

С увеличением территории населенных пунктов естественная гидрографическая сеть подверглась изменению, засыпались овраги и промоины, начали использовать днища и склоны сайев, произошло перераспределение

стоков малых водосборов, исчезли малые реки, начали регулировать крупные реки и, соответственно, изменились гидрогеологические условия.

Развитие оврагов на урбанизированных территориях, в подавляющем большинстве случаев является процессом вторичным. Из-за нарушения, сложившихся в течение многих десятилетий природных или природно-антропогенных комплексов, крупные овражные формы, возникшие у древних поселений, начинают расти в длину, углубляться и расширяться [155].

Наглядным примером конфликта естественного рельефа и роста территории населенных пунктов могут послужить овраги в южной части с. Сарыозек (рисунок 2.6). Постройка новых домов без учета особенностей рельефа и инженерно-геологических условий на новых территориях привело к резкой активизации эрозионных процессов и появлению нескольких новых оврагов с следующими морфометрическими данными: глубиной 1-1,5 м, шириной 3-10 м и длиной сотни метров. На внутренних участках с. Сарыозек происходит нерегулируемый сток воды в восточном и северо-восточном направлениях, вызывающий рост этих оврагов. Дальнейшая активизация роста описанных оврагов вызывает разрушение дорожного полотна улиц и создает угрозу домам. Для предотвращения последствий активизации овражной эрозии необходимо уже на проектной стадии развития населенных пунктов рассматривать природоохранные мероприятия с соблюдением СНиПов (Например, СНиП 2.07.01-89*).



Рисунок 2.6 – Формирование оврагов в с. Сарыозек

Застройка и засыпка естественной овражной сети, создание толщ насыпных и намывных грунтов могут существенно изменить геологические, геоморфологические и гидрологические условия. В августе 2022 года на окраине с. Долан (Карасайский р-н) из-за не продуманного использования овражно-саяевой сети собственник участка земли (11 га), через который проходит овраг, создал угрозу для других жильцов села. Он засыпал овраг и выровнял склоны участка, тем самым создал угрозу затопления части села. В весенний период или многоводные годы по тальвегу данного оврага протекают сезонные воды, выпадающие в небольшое озеро.

Превращение промоин, оврагов и сайев в свалки становится повсеместным явлением (рисунок 2.7). В некоторых случаях – это запланированное и санкционированное отведение оврагов под свалки, часто бывают образования стихийных свалок, в редких же случаях таким способом пытаются бороться с оврагами. В небольших населенных пунктах такие явления не наносят значительного вреда окружающей среде и как бы способствуют утилизации бытовых и строительных отходов. Однако вокруг крупных населенных пунктов и на сельскохозяйственных территориях использование оврагов в качестве свалок приводит к изменениям на водосборе оврагов и в дальнейшем возникновению опасных экологических ситуаций.



а)



б)

Рисунок 2.7 – Овраг, используемый в качестве свалки: а) в с. Сарыюзек; б) вдоль автодороги Алматы – Талдыкорган

Активизация эрозионных процессов происходит в результате грубых ошибок при проектировании новых территории и прокладки инфраструктурно-инженерных сооружений. Для предотвращения оврагообразования необходимо учитывать особенности рельефа, свойства грунтов, геоморфологические процессы и климата территории. Исследования овражной эрозии в пределах Жетысу показали, что, во-первых, овражные формы распространены всюду, во всех районах региона, и, во-вторых, процесс оврагообразования имеет

определенную специфику, отражающую морфометрию рельефа и комплекс других показателей.

На основе изученных материалов и исследования овражной эрозии на ключевых участках составлена схема основных антропогенных факторов западной части Жетысу Алатау (рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 – Основные антропогенные факторы западной части Жетысу Алатау

Овражная эрозия является естественным рельефообразующим процессом, но деятельность человека ускорила ее развитие и усилила актуальность данной проблемы. Хозяйственная деятельность населения в западной части Жетысу Алатау занимает весьма заметную роль в развитии овражной эрозии. Антропогенные факторы, такие как вырубка древесной и кустарниковой растительности, ведение сельского хозяйства, строительные работы, добыча полезных ископаемых и климатические изменения, связанные с человеческой деятельностью, могут значительно увеличить скорость овражной эрозии и привести к усилению деградации земель региона.

Вырубка деревьев и кустарников, связанная с заготовкой дров, лесозаготовкой и сельским хозяйством, в значительной степени способствует развитию овражной эрозии. Удаление растительного покрова снижает сцепление почвы, делая ее более восприимчивой к водной эрозии. Этот процесс усугубляется, когда для расчистки земель используется многочисленная тяжелая техника.

Интенсивные методы ведения сельского хозяйства, в том числе неправильное землепользование и чрезмерный выпас скота, нарушают структуру почвы. Изменения в структуре землепользования, такие как преобразование естественных ландшафтов в пахотные земли для монокультур, нарушение и так скудного естественного растительного покрова, связанного с распашкой склонов, способствуют увеличению поверхностного стока и уменьшению сопротивляемости почв к размыву. На распаханых участках стекающая вода легко прокладывает себе путь, которая в последствии приводит к образованию оврагов и промоин.

Высокие темпы урбанизации и развитие инфраструктуры в западной части Жетысу Алатау изменяют естественные системы дренажа талых и дождевых вод, что приводит к увеличению стока воды и эрозии по непроницаемым поверхностям, такие как дороги и здания, ухудшают сток, направляя воду в овраги.

В результате исследования видно, что антропогенные факторы в западной части Жетысу Алатау оказывают существенное и заметное влияние на динамику овражной эрозии. Обычно влияние антропогенных факторов на овражную эрозию можно наблюдать в течение относительно короткого периода времени, особенно на участках, где сосредоточена деятельность человека. Таким образом, антропогенные факторы существенно влияют на развитие овражной эрозии и имеют экологические, социальные и экономические последствия в регионе. Решение этих проблем требует целостного подхода, сочетающего научное понимание с методами устойчивого управления земельными ресурсами.

Выводы по 2 разделу:

На развитие овражной эрозии в западной части Жетысу Алатау влияет комплекс факторов, как природные условия (геолого-геоморфологические, климатические, почвенно-растительные), так и антропогенные (неправильное хозяйственное использование склоновых земель). От сочетания этих факторов зависит возможность возникновения и интенсивность проявления процесса овражной эрозии на западе хребта Жетысу Алатау.

Влияние геологических факторов на развитие эрозионных процессов предопределяется историей геологического развития и тектоническими режимами формирования геологических тел, определяющими возраст, генезис, состав, структуру, текстуру, мощность и метаморфизм горных пород, характер складчатых и дизъюнктивных структур, трещиноватость скальных массивов, характер осадконакопления и степень уплотнения рыхлых отложений. Особенностью геологического строения западной части Жетысу Алатау является наличие мощного покрова кайнозойских отложений различного генезиса, которые практически повсеместно перекрывают более древние породы. В основном формирование оврагов связано с верхнекайнозойскими отложениями. Большую роль в сложении западной части Жетысу Алатау играют рыхлые породы – пески, глины, суглинки, лёсс, супеси неоген-четвертичного возраста,

легко размываемые даже при небольших уклонах поверхности. В геологической истории территории были периоды, когда линейная эрозия охватывала более значительные пространства, доказательством этого являются древние саи, большинство из которых формировались в виде оврагов или небольших речных долин.

Распространение современной овражной сети в западной части Жетысу Алатау в значительной степени определяется литологическим фактором. Для выявления развития и прогноза овражной эрозии ориентируемся на литологические свойства пораженных пород дневной поверхности территории исследования. Чаще всего овраги формируются на рыхлых четвертичных отложениях, легко размываемых лессовидных суглинках, где с увеличением мощности этих пород возрастает интенсивность развития овражной сети. Менее всего развиваются овраги на плотных коренных отложениях. Литологический состав, физико-механические свойства и формационное поведение пород на заовраженных территориях Жетысу Алатау определяют методы противоэрозионных мероприятия.

На исследуемой территории по геоморфологическому строению выделяются 5 морфологических типов рельефа: среднегорный эрозионно-денудационный слабо расчлененный; низкогорный денудационный слабо расчлененный; увалисто-холмистый денудационно-аккумулятивный; бугристо-барханный эоловый, с которыми связаны современные речные долины, саи и овраги. Западная часть Жетысу Алатау местами характеризуется древними эрозионными формами рельефа в виде неглубоких саев, что предопределяет возможность развития современной овражной эрозии и нарушение устойчивости поверхности склонов, ведущее к их разрушению. В целом, геоморфологическое строение в западной части Жетысу Алатау является одним из ведущих условий в формировании оврагов.

Рельефная среда западной части Жетысу Алатау воздействует на уровень водности и скорость талых и дождевых вод, которые в дальнейшем определяют энергию и эродирующие свойства потоков. Рельеф исследуемой территории характеризуется значительными колебаниями высот, интенсивной и глубокой расчлененностью, чередованием высокогорных, среднегорных, низкогорных массивов и межгорных депрессий. Верное представление взаимосвязи между рельефом территории и овражной эрозией может помочь в разработке продуктивных мер предотвращения овражной эрозии и смягчения ее последствий.

Климатические факторы обеспечивают объёмы воды и температурный режим в периоды обильных осадков и весеннего снеготаяния, необходимые расходы воды и скорости потоков для развития овражной эрозии. При определенных гидрометеорологических условиях наиболее активно овраги растут в период весеннего снеготаяния, где наибольшая роль принадлежит подснежным потокам. В целом на развитие овражной эрозии в западной части Жетысу влияют характер и интенсивность выпадения осадков, запасы воды в снеге, температурный режим воды и воздуха, фильтрационные свойства почвы и особенности растительного покрова.

Почвенный покров играет значимую роль в развитии эрозионных процессов, поскольку он первым испытывает влияние склонового стока. Почвенный покров на территории западной части Жетысу Алатау разнообразен. Это обусловлено различиями климата, высотностью рельефа, подстилающих пород и растительности. Преобладают здесь степные и пустынные почвы: сероземы, черноземы, каштановые, бурые, серо-бурые и пески. На равнинах почвы имеют зональное распространение, а в горных районах они изменяются в вертикальном направлении. Почвы исследуемой территории отличаются сравнительно слабой противоэрозионной устойчивостью в связи с преимуществом в их строении пылеватых фракций, низким содержанием гумуса и низкой оструктуренностью верхних почвенных горизонтов. Активное развитие овражной эрозии в западной части Жетысу Алатау приведет к обширной деградации земель, потере питательных веществ в почве и образованию отложений в нижних водотоках.

Наибольшая покрытость растительным покровом территории западной части Жетысу Алатау является фактором, который способствует замедлению протекания эрозионных процессов. Растительный покров представлен субнивальной, степной горной, пустынной равнинной растительностью, ксиритными лугами, лесами горными, растительностью долин рек и побережий водоемов. Растительный покров играет первостепенную роль в предотвращении формирования оврагов и его восстановление особенно актуально в районах с высоким риском эрозии как на исследуемой территории в западной части Жетысу Алатау.

Анализ природно-антропогенных процессов показывает, что взаимосвязь между населенными пунктами и овражными системами, такая как попытки использования водосбора склонов под строительство вызывают ответную реакцию природной системы, выражающуюся в активизации эрозионных процессов, а также в изменении инженерно-геологических и гидрогеологических условий на водосборе. Развитие овражных форм рельефа на селитебных территориях сопровождается опасными экзодинамическими процессами различного масштаба и динамикой, что необходимо учитывать при проведении противоовражных мероприятий.

Деятельность человека без учета природных факторов может значительно усугубить овражную эрозию и привести к деградации земель. Исследования оврагов в западной части Жетысу Алатау дают основу для дальнейшего мониторинга и разработки рекомендаций по использованию данной территории, подверженной овражной эрозии и ее предотвращения с учетом особенности рельефа, геологических условий и хозяйственной нагрузки.

3 МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОВРАЖНОЙ ЭРОЗИИ

3.1 Применение полевых методов для изучения овражной эрозии

Изучение развития оврагов важно для понимания их формирования, эволюции и влияния на природную среду. Полевые методы являются одним из наиболее эффективных способов исследования развития оврагов. Они основываются на определении границ оврагов, сборе данных о морфометрии и морфологии, характеристиках отложений, конечной целью которых является определение динамики овражной эрозии территории. Полевые маршрутные исследования включают установление генезиса эрозионных форм рельефа, картирование оврагов и выявление опасных очагов развития. В осуществлении полевых методов применяют масштабные линейки, измерительные ленты, клинометры, курвиметры, лазерные дальномеры, тахеометры, системы глобального позиционирования и в последнее время все чаще воздушные и наземные лазерные сканеры.

Развитие овражной эрозии можно оценивать различными морфометрическими характеристиками:

- линейными (прирост вершины оврага, увеличение ширины и глубины);
- площадными (увеличение площади оврага);
- объемными (определение объёма смытого грунта).

В разных регионах мира использовались полевые методы для изучения развития оврагов. Например, R. Gimenez и др. [156] провели полевые исследования для изучения морфометрии оврагов на учебном полигоне в Барденас-Реалес (Наварра, Испания) на площади около 4 га. В полевых условиях проводили прямые измерения геометрии оврагов и промоин с помощью фотограмметрических методов. Уокер и др. [157] использовали полевые методы для изучения развития оврагов на юго-востоке США и обнаружили, что на формирование оврагов сильно повлияли изменения в землепользовании и характеристики почвы.

Во многих исследованиях изучается вершинный прирост оврагов - по полученным данным определяются площадное и объёмное развитие оврагов [158-162].

Для получения количественных данных развития овражной эрозии в западной части Жетысу Алатау были проведены полевые исследования, задачами которых являлись оценка развития роста овражной эрозии и создание ключевых наблюдательных участков с установкой реперов наблюдения. Выбор мест ключевых наблюдательных участков определен с применением космических снимков. При проведении рекогносцировочных обследований были выбраны ключевые участки исследования – овраги, овражно-саевые сети. Выбор объектов исследований проводился по следующим критериям: участки, отражающие наиболее характерные типы оврагов для данного региона; участки, где овражная эрозия происходит наиболее динамично; овраги в разной степени развития; овраги, расположенные на разных литологических породах; овраги на

разных экспозициях; овраги расположенные на склонах разной крутизны; овраги расположенные на развитых территориях с хозяйственной деятельностью; овраги формирующиеся в естественных условиях; доступность с точки зрения подъездов и подходов в разные сезоны года.

Для каждого из участков определён целевой комплекс наблюдений, а также проведено описание естественных условий. По космическим снимкам и полевым материалам на территории исследования были выделены овраги, находящиеся на разных стадиях своего развития.

В полевых условиях с помощью метода замеров оврагов измерялись годовой линейный рост вершинной части оврагов (с 2012 по 2018 гг.), очертание вершины в плане, рост боковых стен, глубины и ширины оврагов, ширина днища, высотный перепад, уклон склонов, а также фиксировались параметры водобойных колодцев. Вдоль оврага поперек склона – перпендикулярно линии тальвега закладывается несколько профилей (количество зависит от длины оврага) на равном расстоянии друг от друга, обычно 20-50 м (рисунок 3.1). Вдоль профиля протягивается мерная лента и замеряется ширина, длина и глубина оврага и его отвершков. По этим данным строится продольный и поперечный профили (рисунок 3.2), вычисляется площадь и объем оврага. В пересчете на площадь поверхности склона полученные результаты дают интенсивность смыва и заовраженность территории.

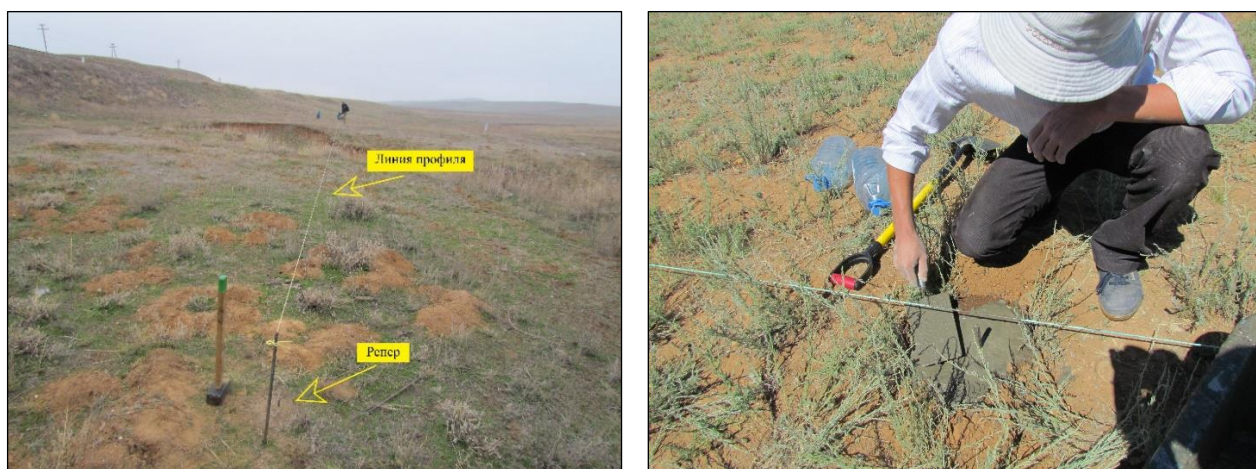


Рисунок 3.1 – Установка профиля вокруг оврага

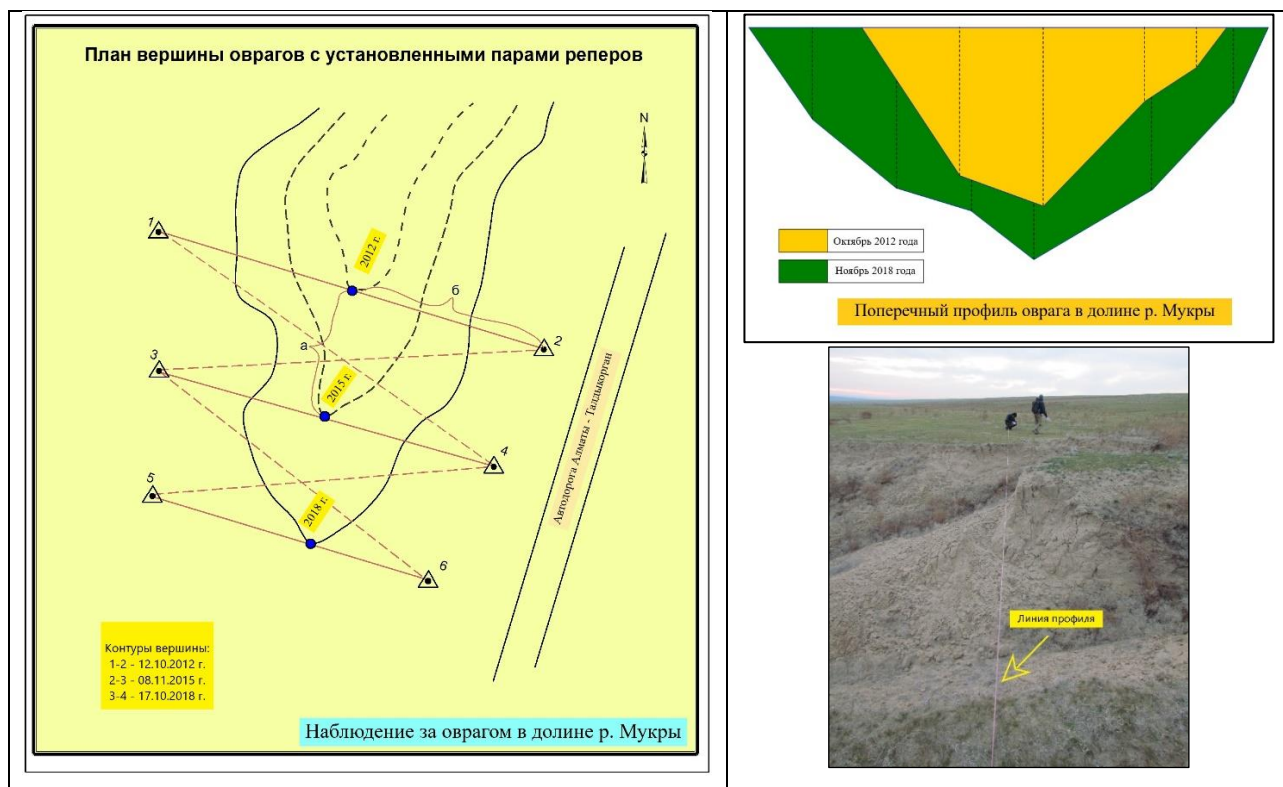


Рисунок 3.2 – Схема установки профиля вокруг оврага в долине р. Мукры

Темпы линейного прироста оврагов являются одним из надежных показателей для выявления развития овражной эрозии. Определение скорости роста оврагов проводится способом измерения расстояния от вершины оврага до предварительно установленного репера. Наблюдения производятся методом фиксирования вершин оврагов жесткими реперами (рисунок 3.3). На вершинах основного оврага и боковых отвершков устанавливаются металлические репера для затягивания веревки между ними. Репера необходимо установить касательно середины вершины оврага или отвершков. На следующий год установили новые репера на возросшей вершине и зафиксировали изменения относительно показаниям прошлогодних реперов. Полученные замеры отмечаются в паспорте оврага. Полевые работы преимущественно проводились поздней весной и ранней осенью, когда уровни воды наиболее низкие, а опавшая листва и травяной покров не препятствуют полевым работам.

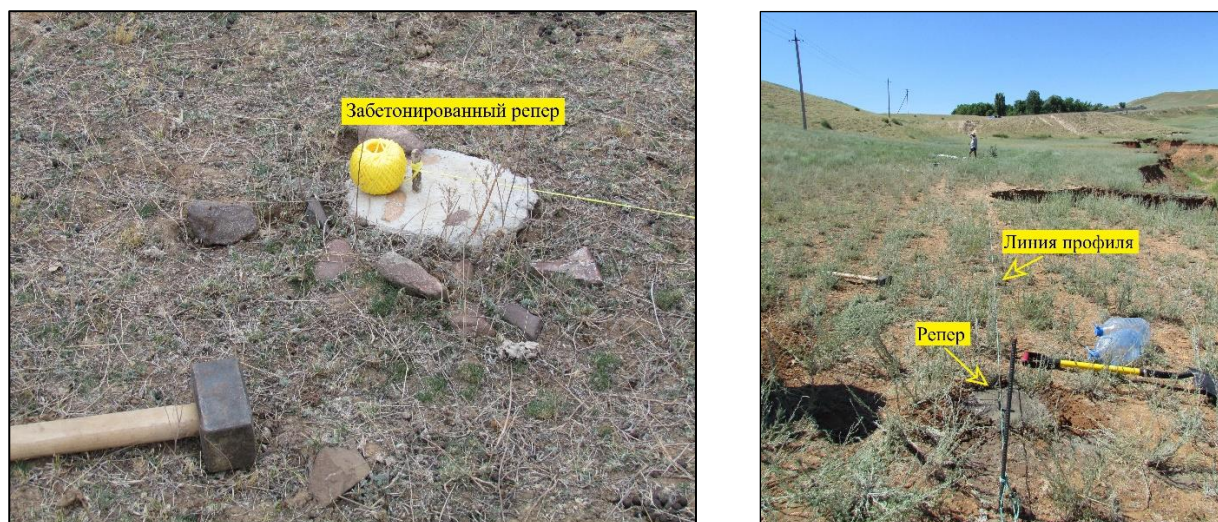


Рисунок 3.3 – Установка жестких реперов в вершинной части оврага

Часто недостатком данного метода является довольно большая погрешность измерений, которая зависит от количества профилей. В полевых условиях трудно выполнять замер каждого отвершка и борозды. Полевые методы также имеют некоторые ограничения, такие как высокая стоимость, трудоемкость сбора данных, время затратность, трудность доступа на удаленной или пересеченной местности, сложность применения метода в больших масштабах, а также вероятность ошибок измерения и изменчивости данных. Однако информация, полученная с помощью полевых методов, может быть использована для разработки более точных и всеобъемлющих моделей формирования и развития оврагов для рационального использования и сохранения земельных ресурсов.

Положительным моментом данного метода является объективность измерений и оперативное получение результатов. При последующих разновременных полевых работах метод позволяет получить количественные данные динамики смыва, изменений конфигурации и параметров роста овражной сети. Например, количественные данные о характеристиках отложений можно использовать для определения источника и состава отложений в системе оврагов, а также для определения факторов, способствующих эрозии оврагов. Использование статистических методов и методов моделирования может помочь выявить закономерности и взаимосвязи в данных и разработать прогностические модели формирования и развития оврагов.

3.2 Применение методов дистанционного зондирования Земли для исследования овражной эрозии

Полученные изображения с помощью дистанционного зондирования Земли активно используются в геоморфологии для исследования и картирования форм рельефа, в том числе для изучения овражной эрозии. В изучении и мониторинге овражной эрозии в западной части Жетысу Алатау нами были применены методы и данные дистанционного зондирования, как один из основных методов.

Методика исследования оврагов имеет ряд особенностей, отличающих их от исследований водотоков первых порядков. В связи с небольшими размерами исследуемых объектов и покрытием их густой растительностью, картографические и аэрокосмические данные, как правило, не обеспечивают достаточной детальностью изучение морфологии и динамики оврагов. Основным применяемым нами методом исследования оврагов является идентификация и дешифрирование оврагов с использованием методов дистанционного зондирования Земли. Дешифрирование оврагов выполнялось с применением космических снимков среднего и высокого разрешения из открытых источников (Google Earth, SAS.Планета, Sentinel-2,). Картирование оврагов составляли в программе ArcGIS, а также проводили описание результатов, сравнительный и системный анализ овражной эрозии.

Сейчас для исследования оврагов применяются разные методы, но среди них высокоэффективными являются методы с применением ГИС-технологии. К таким методам относятся: определение и картирование оврагов, используя изображения с открытых ресурсов Google Earth; пиксельный анализ изображений, основанный на методах данных дистанционного зондирования; машинное обучение и автоматическое картирование оврагов, объектно-ориентированные методы; топографический метод, основанный на цифровой модели рельефа ASTER GDEM, для определения элементов оврагов [163]; использование наземного лазерного сканирования для мониторинга эрозионных процессов [18, 164-166].

С каждым годом с развитием приборов измерения и базы данных дистанционного зондирования Земли, изучение овражной эрозии становится более качественным и доступным. Качественная информация с изображениями высокого разрешения позволяет более точно идентифицировать границы, проводить классификацию и выявлять точные размеры оврагов, для изучения интенсивности и дальнейшего прогнозирования развития овражной эрозии.

Разные исследования продемонстрировали полезность программного обеспечения Google Earth для изучения и картирования оврагов в разных регионах и контекстах. Например, в исследовании Amaury Frankl et al. [167] использовали Google Earth для картирования оврагов в водосборе Май Баати в северной Эфиопии. Китайские исследователи также использовали Google Earth для крупномасштабного картографирования районов, подверженных сильной эрозии Лёссового плато [163]. Карта оврагов, составленная для сельскохозяйственных угодий в регионе Уэст Гиппсленд (Виктория, Австралия) с использованием изображений Google Earth, немного занижала наличие оврагов (примерно на 15%), но тем не менее она представляет собой улучшенный и обновленный набор данных по сравнению с предыдущей информацией о протяженности оврагов в регионе [168]. Бесплатная доступность изображений с географической привязкой делает Google Earth ценным и дешевым источником информации о рельефе, который можно использовать для первичной оперативной оценки геоморфологических процессов.

Возможности открытого интернет ресурса Google Earth широко используются во многих геоморфологических исследованиях. Изображения

сервиса Google Earth являются качественными снимками высокого разрешения, а также остаются как надёжный достоверный источник данных. Полученные результаты хорошо сопоставимы с данными полевых карт или аэрофотоснимков, позволяют получать количественную оценку и делать выводы о взаимосвязях формы рельефа и природного процесса. Google Earth позволяет визуализировать и анализировать динамику оврагов с течением времени, используя исторические изображения и анимацию с интервальной съемкой. Изображения Google Earth помимо перечисленных преимуществ имеют некоторые недостатки, к ним можно отнести произвольное время получения изображений и трудности детализации некоторых оврагов, связанные с разрешением отдельных снимков.

Учитывая постоянно повышающееся качество изображений Google Earth, в будущем применение этого метода на территориях, подверженных овражной эрозии западной части Жетысу Алатау, приведет к более высокоточным исследованиям. Полуавтоматические методы выделения и интерпретации признаков овражной эрозии могут еще больше повысить точность и скорость генерации данных, это требует дальнейших исследований в этом направлении. Полевая проверка полученных карт по-прежнему важна для оценки точности карты и предоставления информации о размере и активности систем оврагов в западной части Жетысу Алатау.

При идентификации овражной эрозии на снимках Google Earth использовали основные дешифровочные признаки как: форма, размер, цвет, фототон, тень, структура и характер растительного покрова овражно-саевой сети в западном Жетысу Алатау. На снимках овраги хорошо выделяются с резкими, геометрически выраженными границами, наличием четкой бровки склонов и линии тальвега (ровный тон окраски склонов и дна), контрастными цветами на разных бортах оврага. Определение линии тальвегов по порядкам водотоков показаны на рисунке 3.4, каждый порядок водотока оврага показаны разными цветами.

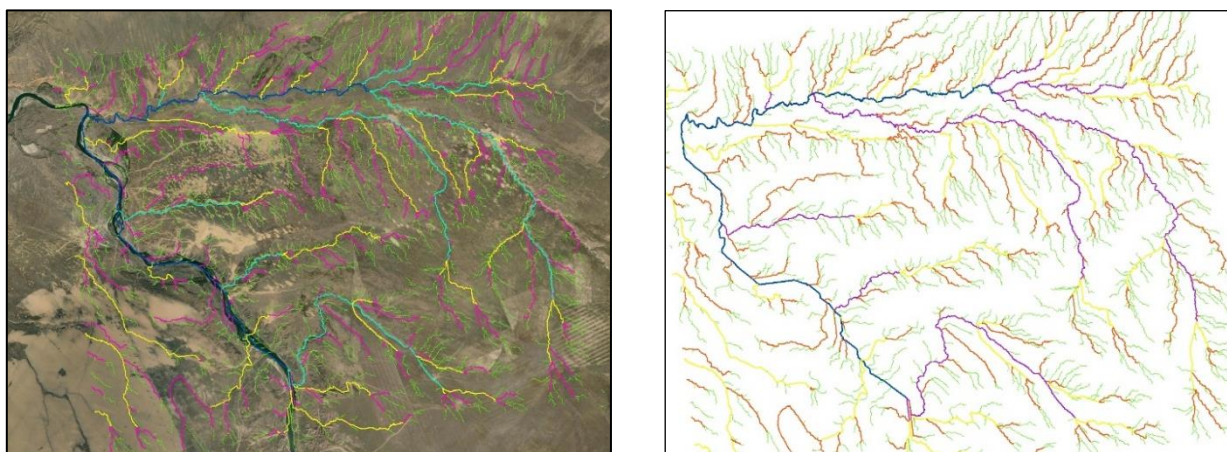


Рисунок 3.4 – Тальвеги овражно-саевой сети исследуемого участка западного Жетысу Алатау

На некоторых снимках хорошо определяется V-образный профиль оврага, где заметны большие глубины вреза оврага в рельеф с соответствующими

обнаженными (незадернованными) участками. В процессе дешифровочных работ можно определить расположение на местности, генезис, продольный и поперечный профили, форму, размеры, плановый вид, конфигурацию, виды и типы оврагов (рисунок 3.5). Также можно выявить по характерным размерам стадии развития овражной эрозии – ручейковая сеть-рытвина-промоина-овраг-балка-долина. Например, промоину можно отличить от оврага по небольшой глубине, которая не превышает 1.5 м, и шириной менее 3 м. Недавняя эрозия на снимках определяется по резкости эрозионно-аккумулятивных элементов (ручейки, овраги и конусы выноса) и их связи с равнинной частью, посевами, линиями обработки и колеями. Напротив, следы более старых оврагов скрыты густой растительностью, современными посадками агрокультур и связанными с ними сельскохозяйственными формами. На ключевых участках были сделаны полевые замеры размеров оврагов с их изображениями из ресурса Google Earth. Для большинства крупных оврагов морфометрические данные были подтверждены в полевых условиях.

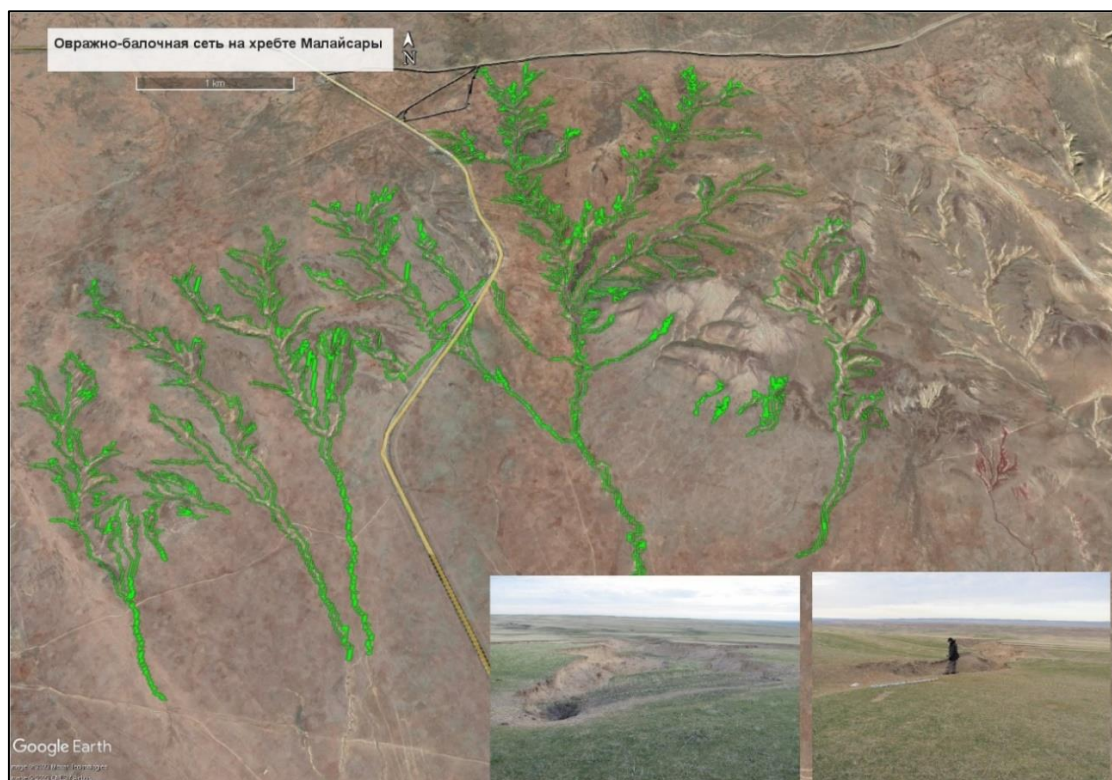


Рисунок 3.5 – Дешифровочные работы овражной эрозии хребта Малайсары с ресурса Google Earth

С помощью инструментов приложения Google Earth можно получить важные морфометрические параметры, как продольный и поперечный профили крупных оврагов, ширину, длину, максимальный и средний уклон, длину склона, перепад высот оврагов (рисунок 3.6).

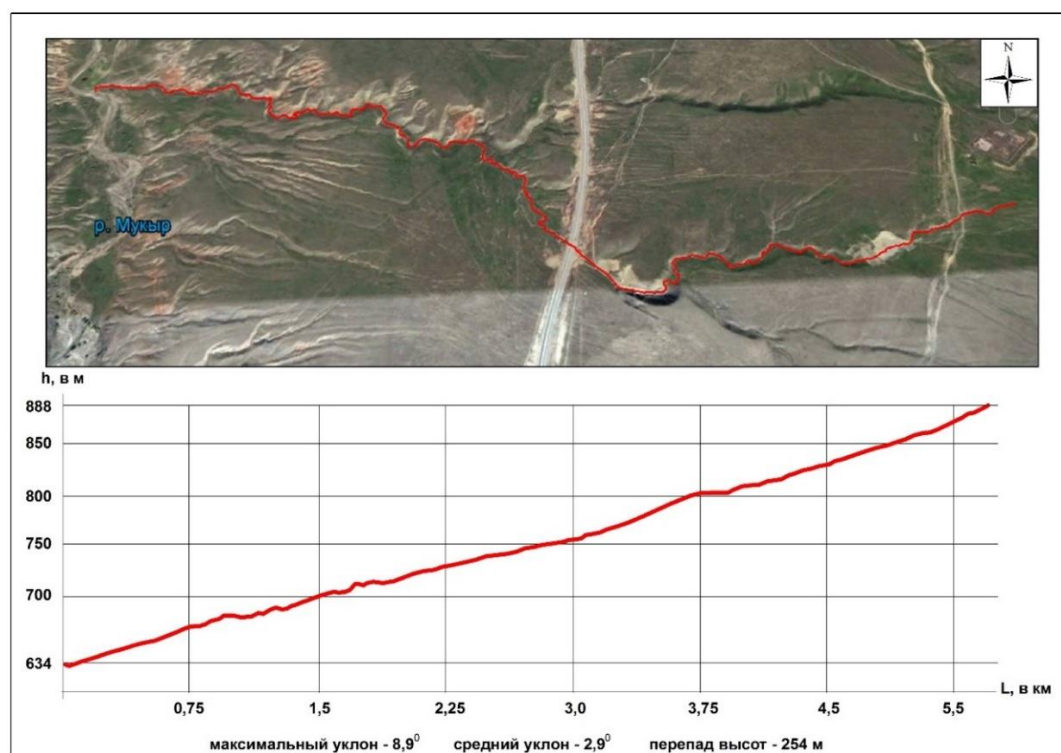


Рисунок 3.6 – Продольный профиль оврага в долине р. Мукур

Для лучшего понимания оврагов на больших площадях особое значение имеет картографирование овражной эрозии [169]. Появление в открытом доступе космических снимков высокого разрешения существенно расширило возможности исследования овражной эрозии. Для количественной оценки современного состояния и выявления закономерностей распространения овражной сети лучше всего использовать космические снимки высокого и сверхвысокого разрешения с последующей идентификацией в полевых условиях. Космические снимки овражных систем мы в дальнейшем обрабатывали и проводили картирование в программе ArcGIS 10.8 и в её приложении ArcMap.

Для наблюдения динамики овражной эрозии с помощью разновременных космических снимков нами были выбраны вершины единой овражно-саевой сети. В дальнейшем путем сравнения двух снимков рассчитывались линейный рост и площадное распространение (рисунок 3.7). Наблюдая за ростом разных оврагов в районе исследования можно вычислить средний рост и распространение овражной эрозии [170, 171].

Вкратце, технологический процесс обработки данных дистанционного зондирования состоял из последовательного выполнения следующих основных этапов: выбора и получения космических снимков; их привязки (трансформирования), разработки принципов; дешифрирования и оцифровки объектов рельефа; разработки структуры цифровой карты; оформления картографического материала. При определении и нанесении овражно-саевых систем на карты дешифровочными признаками послужили бровки склонов, тальвеги оврагов, ровный тон окраски склонов и дна [154].

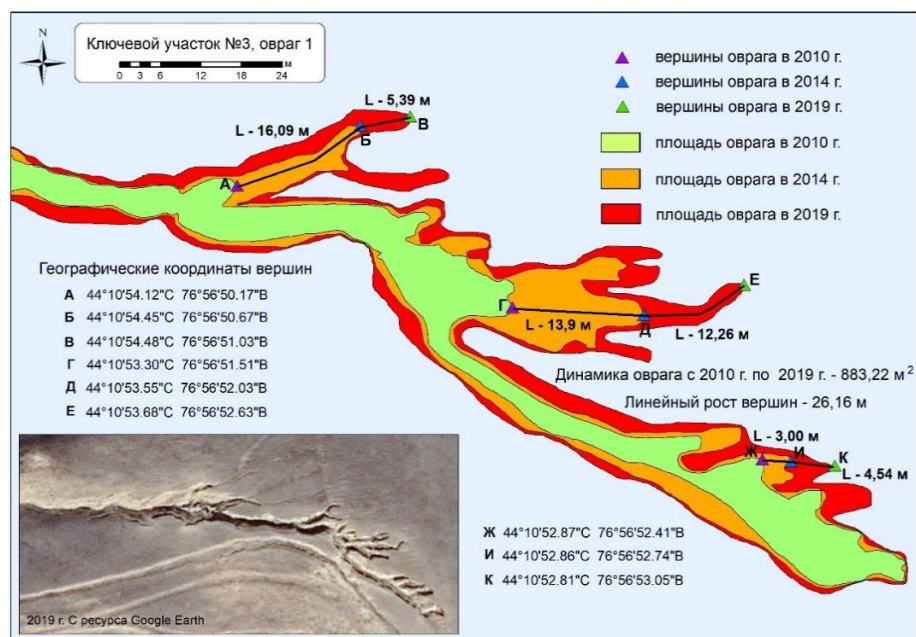


Рисунок 3.7 – Линейный рост и площадное развитие оврага №1 в на ключевом участке №3

Таким образом, современные ГИС-технологии позволяют получать морфометрические показатели рельефной среды, наблюдать динамику изменения во времени, обеспечивая более объективную и комплексную оценку развития овражной эрозии. Изучение овражной эрозии в пределах исследуемого региона с появлением новых технических возможностей (ГИС-технологии, трехмерное лазерное сканирование) дает существенные возможности для более масштабного охвата территории, детального получения параметров отдельных оврагов, данных для всестороннего анализа динамики и закономерностей развития овражной эрозии. Проведение мониторинга изменений на поверхности рельефа с использованием космической информации позволяет получить независимую информацию о масштабах развития овражной эрозии и дальнейшей ее «наземной» проверке.

3.3 Применение метода лазерного сканирования для исследования овражной эрозии

Наиболее детальное картирование и мониторинг развития оврагов необходим для понимания факторов, влияющих на эрозию оврагов, разработки эффективных методов борьбы с эрозией. В последние годы наземное лазерное сканирование (НЛС) стало мощным инструментом для изучения и картирования развития оврагов благодаря его способности получать точные топографические данные с высоким разрешением на больших территориях.

НЛС – это метод съемки, в котором используются лазерные лучи для измерения расстояния между сканером и поверхностью. Системы НЛС излучают тысячи лазерных лучей в секунду, которые отражаются от поверхности и улавливаются детектором. Время, необходимое для возвращения лазерных

лучей к сканеру, используется для расчета расстояния между сканером и поверхностью. Сканируя поверхность с нескольких позиций (скан позиции), метод НЛС может генерировать точные топографические данные с высоким разрешением, которые можно использовать для изучения и картирования развития оврагов.

Методы НЛС особенно хорошо подходят для изучения и картирования оврагов благодаря своей способности захватывать топографические данные с высоким разрешением на больших территориях. НЛС может фиксировать вертикальные и горизонтальные расстояния с точностью до нескольких миллиметров, что позволяет обнаруживать мелкие изменения рельефа. Используя методы НЛС также можно собирать данные в областях, которые трудно или невозможно получить с помощью традиционных методов съемки, таких как высокие и крутые склоны или участки с густым растительным покровом. Применение метода НЛС при изучении эрозионных процессов позволяет оперативно получать трехмерные данные с высокой точностью, показывающие детальное изменения в рельефной среде, характеризуя процесс денудации и аккумуляции.

Методы НЛС применялись в разных геоморфологических исследованиях в разных частях Земли. Ученые Lin Z. и другие в своих работах с использованием методов лазерного сканирования выявили мелкие тектонико-геоморфологические особенности и выполнили идентификацию разломов в горах центральной Японии [172]. В других работах исследователи, используя выходные данные наземного лазерного сканирования в виде ЦМР (цифровая модель рельефа), проводили идентификацию трещин в обнажениях разных литологических пород для предотвращения опасных процессов [173]. Подтверждена разными исследователями эффективность использования методов НЛС при мониторинге геоморфологических процессов [164, 165, 174-177].

Метод НЛС также успешно используется для оценки изменчивости рельефной среды, в том числе изменения овражно-балочных систем. В нескольких исследованиях использовались методы лазерного сканирования для изучения и картирования развития оврагов. Например, в юго-восточном Пьемонте (Южная Каролина, США) с помощью лазерного сканера идентифицировали промоины и некрупные овраги для двух ответвляющихся систем оврагов в лесных районах, где проводились работы по картированию и получению морфометрической информации [178]. В другом исследовании по результатам проведенными разновременными НЛС работами получены объемы эрозии и осадконакопления в вершинной части оврага, где при первичной съемке оврага составляло $11,0\text{ м}^3$ и в следующий раз $8,2\text{ м}^3$ и соответственно получены чистая потеря грунта $2,8\text{ м}^3$ [179]. Применяя метод НЛС в западной части Жетысу Алатау, были получены количественные результаты смыва овражной эрозией: $130,02\text{ м}^3$ грунта на 85 м участка оврага. [180].

Применяемый нами метод НЛС состоит из 3-х основных этапов: выбор мониторинговых участков и точки сканирования; наземного лазерного сканирования выбранных участков с 3D сканером VZ-4000 (производство

Австрия, фирма RIEGL) с максимальным покрытием сканированного объекта; камеральной обработки полученных данных в программе RiSCAN PRO.

Лазерные сканирующие координатно-измерительные системы предназначены для измерений координат точек объекта с целью определения его геометрических размеров. VZ-4000 RIEGL – это трехмерный наземный лазерный сканер, обеспечивающий высокую скорость работы, беспроводной сбор данных с использованием узкого инфракрасного лазерного пучка и быстродействующего механизма сканирования. Принцип действия прибора НЛС заключается в измерении координат точек в пространстве полярным методом. Измерение расстояний производится лазерным дальномером, использующим импульсный метод с технологией оцифровки сигнала [181].

Подготовительные работы для НЛС в полевых условиях. Для максимального охвата прибором наиболее активных рельефообразующих процессов и минимизирование не покрытых сканированию поверхностей (черные пятна) проводится предварительным изучением местности по ресурсам Google Earth, космическим снимкам и топографическим картам. На подготовленных карта-схемах наносятся точки сканирования (скан позиции), но при изменении условия на местности или не корректных картографических материалов точки сканирования корректируются в зависимости от условий участка (рисунок 3.8).

Во время подготовительных работ для метода НЛС в полевых условиях определились следующие критерии для сканирования овражно-саевых систем западной части Жетысу Алатау:

- 1) минимальное расстояние до объекта (5м);
- 2) максимальное расстояние до объекта (3000м);
- 3) контроль за диффузно рассеивающими целями (стены, кустарники и деревья), для получения полного набора данных о поверхности объекта;
- 4) вертикальный диапазона охвата сканирования 60° ;
- 5) горизонтальный шаг сканирование $0,03^{\circ}$ (Frame Res);
- 6) частота измерения Meas Program 200 kHz (дальности сканирования 1-2 км);
- 7) перекрытии сканов 20-30%;
- 8) определения прочной точки стояния сканера (скан позициями).



Рисунок 3.8 – Выбор наиболее подходящего места для сканирования оврага и процесс лазерного сканирование в западной части хребта Малайсары

Сканирование объектов обычно производится при помощи нескольких сканов, получаемых с различных точек размещения сканера по отношению к изучаемому природному объекту. Обычно для структурного и линейного скана устанавливается одинаковое угловое приращение, таким образом, результирующее облако точек не имеет дисторсии, а имеет постоянную угловую сетку по обеим осям. В режиме прямоугольного сканирования начинается вращение головки, сбор данных и окончание вращения, после того как все поле зрения будет отсканировано [181].

Камеральная обработка полученных полевых данных в программе RiSCAN PRO версия 2.8.2 состоит из следующих этапов:

Регистрация скан позиции и мультистанционное уравнивание. Процесс регистрации разных положений сканов в системе координат проекта – это определение соответствующей матрицы ориентации и положения сканера. Для регистрации одиночного положение сканов в системе координат проекта должен быть получен список связующих точек в собственной системе координат сканера. При регистрации сканов выбираем инструмент не городская среда, а на открытом воздухе. Данный инструмент больше всего подходит для изучения геоморфологических процессов в открытом пространстве.

Создание единого облака точек. По завершению регистрации и уравнивании всех скан позиции необходимо создание единого облака точек. Облако точек – это группа точек со значениями координат в четко выраженной системе координат. При создании единого облака точек прореживаем плотность точек через определенные сантиметры между точками (по координатам x , y , z). Созданное единое облако точек для каждого мониторингового участка в отдельных проектах программы RiSCAN PRO – это удобный монолитный материал данных для количественного анализа. Наглядный вид единого облака точек и точки сканирования (скан позиций) оврага в долине р. Мукры показан на приложении Н.1.

Фильтрация от растительности и от посторонних не природных предметов. При сканировании на открытой местности сканер также принимает отраженные сигналы от растительности и не природных предметов, которые для построения цифровой модели рельефа не нужны. Поэтому при обработке единого облака точек, применяя опции фильтр растительности, удаляем полученные данные растительного покрова. Данные не природных объектов удаляются вручную, вырезая каждый объект по отдельности (Приложение Н.2).

Чистка от «эхо». При сканировании природных объектов вместе с полезными данными попадают лишние эхо данные (переотраженные сигналы от разных поверхностей). Эти «эхо» данные при обработке облако точек для дальнейшего анализа создают не нужную информацию. Поэтому необходимо удаление таких «эхо» данных (Приложение Н.3). После очистки от растительности и от не природных объектов остаются только данные для

построения цифрового рельефа местности. Таким образом, в облаке точек остаются самые полезные точки для дальнейшей обработки.

Создание цифровой модели рельефа. В дальнейшем для создания ЦМР необходимо создание полиданных, используя фильтр данных. В фильтре данных, выбирая режим 2,5D растр, получаем полиданные. Далее полученные полиданные будут триангулированы через алгоритм триангуляции Делоне. Триангуляция Делоне вычисляется с 2,5D координат вершин, преобразованных в референсную плоскость. В результате триангуляции данных получаем ЦМР оврага для дальнейшего анализа (рисунок 3.9). ЦМР для подсчета смытого грунта используются во многих исследованиях, включая геоморфологические.

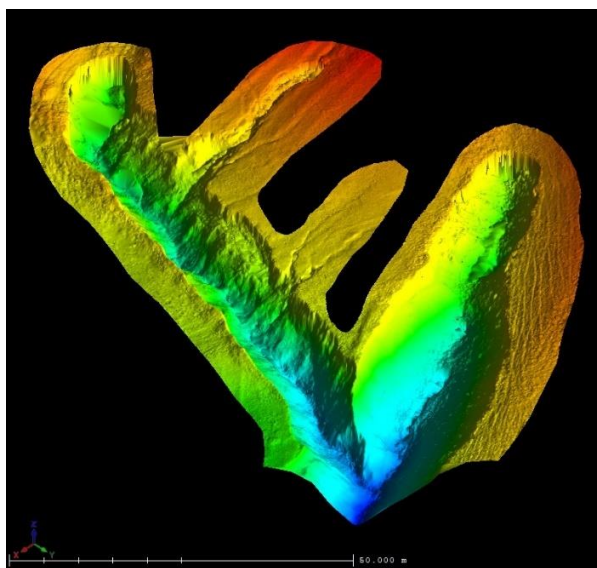


Рисунок 3.9 – ЦМР оврага №2 в долине р. Мукры

Сравнительный анализ облака точек за разные периоды. Для анализа облака точек за разные периоды необходимо в программном обеспечении вызвать облако точек за разные периоды в один рабочий проект. В рабочем проекте получили количественные данные по изменению высоты, ширины и длины объекта. Кроме того, получили плановый вид, поперечные и продольные профили за разные периоды в одном изображении.

Подсчет объема смытых грунтовых масс за 2 года наблюдения. Для выявления объема смытых грунтов за определенный период необходимо подготовить ЦМР за разные даты наблюдений. В программном обеспечении вызывая в один проект ЦМР оврагов разных лет, используется опция расчета объема. Объем рассчитывается между плоскостью и результирующей поверхностью. Получаем количественные данные в расчете кубических метров смытого грунта (рисунок 3.10).

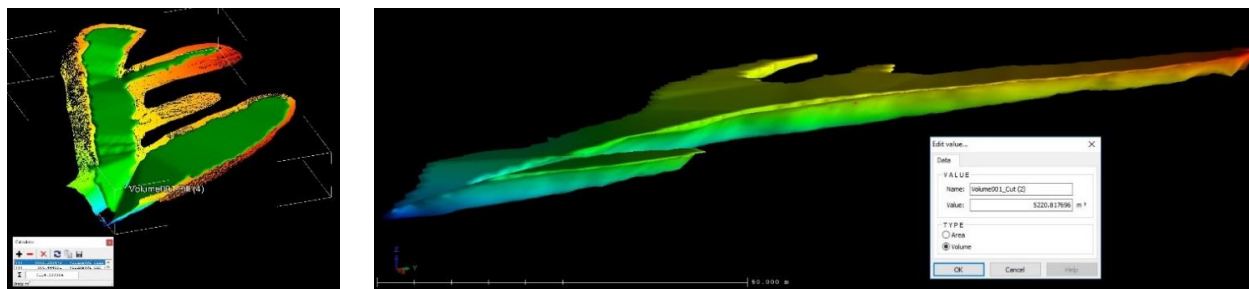


Рисунок 3.10 – Получение количественных данных внутренней части оврага в западной части Жетысу Алатау (м³)

В ходе исследования процессов овражной эрозии в западной части Жетысу Алатау использование метода НЛС позволил нам определить количественные характеристики развития эрозионных процессов, в частности объемы смытого грунта, линейные изменения поперечных и продольных профилей. НЛС высокого разрешения дает уникальную возможность отслеживать кратковременные процессы эрозии и отложений в овражных системах Жетысу Алатау. Системное и долгосрочное использование метода НЛС при изучении рельефообразующих процессов региона дает возможность контролировать опасность овражной эрозии, улучшать последующую характеристику деятельности и морфометрии рельефной среды, а также их развития. Результаты этого исследования демонстрируют полезность методов НЛС для понимания факторов развития, мониторинга и разработки эффективных стратегий по борьбе с овражной эрозией.

Выводы по 3 разделу:

В рамках написания диссертационной работы для исследования овражной эрозии в западной части Жетысу Алатау применялись следующие методы – полевые, дистанционного зондирования Земли и наземное лазерное сканирование.

Для получения количественных данных по тенденции развития овражной эрозии и свойств оврагов в западной части Жетысу Алатау были проведены полевые исследования. Полевые методы являются одними из наиболее эффективных способов изучения развития оврагов. Они основываются на определении границ оврагов, сборе данных о морфометрии и морфологии, характеристиках отложений и выявлении динамики овражной эрозии на территории исследования. Выбор мониторинговых участков определен с применением космических снимков и рекогносцировочных обследований западной части Жетысу Алатау. На мониторинговых участках были установлены жесткие репера для получения линейного роста вершинной части, роста боковых стен и площадного развития оврагов. В ходе исследования при полевых маршрутных исследованиях установлен генезис эрозионных форм рельефа, проводилось картирование оврагов с выявлением опасных очагов развития овражной эрозии. Применяя полевые методы получены следующие данные овражных форм – линейный рост, рост боковых стен, глубина и ширина, ширина

днища, высотный перепад, уклон склонов, параметры водобойных колодцев. Использование полевого метода для исследования овражной эрозии дает объективные количественные данные и обеспечивает оперативность исследований.

Среди высокоэффективных методов для изучения оврагов является метод дистанционного зондирования Земли. Применяя метод ДЗЗ, можно картировать овраги, определить морфометрические параметры оврагов, определить порядок водотоков овражной сети, получить продольные и поперечные профили оврага, получить данные по динамике, выявить площадное распространение, составить карты густоты овражной сети и плотности оврагов. Технологический процесс обработки данных дистанционного зондирования заовраженных территорий западной части Жетысу Алатау состоял из последовательного выполнения следующих основных этапов: выбора и получение космических снимков; их привязки (трансформирования), разработки принципов; дешифрирования и оцифровки объектов рельефа; разработки структуры цифровой карты; оформления картографического материала.

Для наиболее детального картирования и мониторинга развития отдельных оврагов и овражно-саевых сети западной части Жетысу Алатау был выбран и применен метод НЛС. Метод НЛС особенно хорошо подходит для изучения и картирования оврагов с такими возможностями, как захват топографических данных с высоким разрешением на небольших оврагах, так и больших овражно-саевых сетей. В ходе исследования с помощью метода НЛС были получены внутренние объемы и продольные профили оврагов. Этот метод успешно используется для оценки изменения овражных форм рельефа. Сравнивая полученные цифровые модели изучаемых оврагов разных лет, были получены данные по эрозии грунта в объемных выражениях. Преимуществом метода НЛС является объективность измерений и оперативное получение результатов.

Изучение овражной эрозии в пределах исследуемого региона с появлением новых технических возможностей, таких как современные полевые подходы, методы ДЗЗ и трехмерное лазерное сканирование дает существенные возможности для более масштабного охвата территории, детального получения параметров отдельных оврагов и овражно-саевых сетей, данных для всестороннего анализа динамики и закономерностей развития овражной эрозии. В итоге, вышеописанные методы позволяют проводить мониторинг оврагов, провести оценку развития и получить исчерпывающие данные о масштабах распространения овражной эрозии в западной части Жетысу Алатау для разработки эффективных мер борьбы с эрозией.

4 ОЦЕНКА РАЗВИТИЯ ОВРАЖНОЙ ЭРОЗИИ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЖЕТЫСУ АЛАТАУ

4.1 Морфометрические характеристики оврагов

Для оценки масштаба и интенсивности овражной эрозии в западной части Жетысу Алатау были получены морфометрические параметры оврагов с использованием космических снимков из ресурса с открытым доступом Google Earth. Ресурс Google Earth использует снимки со спутника GeoEye-1. Спутник GeoEye-1 предоставляет панхроматические изображения с разрешением 0,41 м и мультиспектральные изображения с разрешением 1,65 м, которые позволяют получать морфометрические данные оврагов. При использовании снимков учитываются такие параметры, как высокое качество изображения и снимки весеннего и осеннего сезонов. Общее количество отдельных овражных формирований и овражно-саевых систем в западной части Жетысу Алатау после идентификации составляет 2031 единицу.

В западной части Жетысу Алатау длина оврагов меняется от десятков метров до нескольких километров, ширина от нескольких метров до многих десятков метров, глубина обычно от несколько метров до десятки метров. Большинству оврагов по поперечному сечению характерна V-образная форма. Овраги и овражно-саевые сети западной части Жетысу Алатау в плановом обзоре имеют извилистый или ветвящийся, часто древовидный вид.

По морфометрическим показателям на западной части Жетысу Алатау длина оврагов варьируется от 10 метров для отдельных оврагов и до 12430 м для отдельных овражных систем. Длина большинства оврагов достигает до 910 м, из них 545 единиц до 460 м и 458 единиц до 910 м. Овраги и овражно-саевые сети по центральному тальвегу длиной до 1810 м составляют 76,8%. Овражно-саевые сети длиной выше 8000 м обнаружены в количестве 18 единиц. Количественное распределение длин оврагов и овражно-саевых сети в западной части Жетысу Алатау показано на рисунке 4.1 По космическим снимкам удалось получить количественные данные длин 1896 единиц оврагов и овражно-саевых сетей. В западной части Жетысу Алатау максимальная длина оврагов и овражно-саевых сети не превышает длину склонов и часто заканчивается в речных долинах.

По морфометрическим характеристикам именно показатели длины оврагов особенно хорошо отражают развитие овражной эрозии. Динамика роста по длине в оврагах и овражно-саевых сетях наиболее хорошо наблюдается на разновременных снимках осенних или весенних съемок. На многих оврагах наблюдаются отсутствие роста оврага по длине в связи с зарастанием вершинной части густой растительностью или с исчерпанием потенциала своего роста. Если овраг по длине растет медленными темпами, то рост оврага можно зафиксировать снимками за длительными промежутками годов или десятилетий.



Рисунок 4.1 – Диаграмма распределения длины оврагов и овражно-саевых сети по центральному тальвегу, м

Ширина любого оврага меняется от вершины к устьевой части. Обычно в вершинной части и на отвершках ширина оврага в разы меньше, чем в устье. Нужно отметить, что овраги по ширине растут гораздо медленнее, чем по длине.

В западной части Жетысу Алатау ширина оврагов и овражно-саевых сетей по центральной части у 469 единиц варьируется от 1,5 м до 10,4 м, у 246 единиц – от 10,5 м до 19,3 м, у 386 единиц – от 19,4 м до 28,2 м и у 291 единиц – от 28,3 м до 37,1 м. Согласно полученным количественным данным, 73,5% (1392 единицы) оврагов имеют ширину 1,5-37,1 метров. Остальные 26,5% (501 единица) оврагов имеют ширину от 37,2 до 432 метров. Количественное распределение ширины оврагов и овражно-саевых сети в западной части Жетысу Алатау отражено на рисунке 4.2. По космическим снимкам удалось получить количественные данные ширины 1893 единиц оврагов и овражных систем. Обычно признаки роста оврагов по ширине трудно обнаружить по данным космических снимков, так как изменения происходят медленно и в небольших значениях. На оврагах изменения по ширине лучше всего можно зафиксировать в полевых условиях с применением методов установок жестких реперов.



Рисунок 4.2 – Диаграмма распределения ширины оврагов и овражных систем по центральной части, м

На исследуемой территории получилось определить глубины 1794 единиц оврагов и овражных систем. Обычно глубины оврагов меняются по продольному профилю от вершинной части к устьевой. Глубины оврагов и овражных систем изменяются как по длине, так и поперечному профилю в несколько раз и распределены неравномерно. Глубины большинства оврагов в западной части Жетысу Алатау варьируются от 1,5 м до 41,8 м (94,8 % или 1700 единиц), в зависимости от глубины местного базиса эрозии. Количественные данные распределения глубины оврагов и овражных систем в западной части Жетысу Алатау выделены на рисунке 4.3. Точные значения глубин небольших оврагов и дальнейшие процессы углубления по данным космических снимков сложно определить. Нами в данном исследовании значения глубины оврагов получены во время полевых работ с применением лазерного сканера VZ-4000, лазерного дальномера Leica, масштабной рейки, а также по изображениям Google Earth.



Рисунок 4.3 – Диаграмма распределения глубины оврагов и овражных систем по центральному тальвегу, м

Крутизна склонов – важный морфометрический показатель рельефа, который влияет на интенсивность развития овражной эрозии. Обычно рельефообразующие процессы на склонах развиваются на поверхностях с уклоном более $1-2^\circ$, когда действие силы гравитации оказывается более ощутимым. Выделяется несколько категорий склонов по крутизне: очень крутые (более 35°), средней крутизны ($8-15^\circ$), пологие ($4-8^\circ$), очень пологие ($2-4^\circ$); по длине: длинные (более 500 м), средней длины (50-500 м), короткие (менее 50 м) [182, 183].

Наиболее точные значения крутизны склонов сложно определить по данным космических снимков, и они лучше всего определяются во время полевых работ с помощью клинометра. Нами выявлены крутизны склонов 646 единиц оврагов и овражных систем по центральным тальвегам. Крутизна большинства оврагов в западной части Жетысу Алатау варьируется от $0,06$ до $7,06$ градусов ($92,7\%$ или 599 единиц), в зависимости от естественного откоса склона. Остальная небольшая часть оврагов имеют крутизну больше $7,06$ градусов. Количественные данные распределения крутизны оврагов и овражных систем в западной части Жетысу Алатау отражены на рисунке 4.4.



Рисунок 4.4 – Диаграмма распределения крутизны склонов оврагов и овражных систем по центральному тальвегу, градус

Разница в интенсивности процессов овражной эрозии возрастает с увеличением крутизны склонов до определенных пределов. В зависимости от экспозиции склонов и литологии грунтов на небольших уклонах процессы овражной эрозии протекает разными скоростями. Обычно угол наклона оврага не превышает угол естественного откоса склона. Активность или затухание овражной эрозии на склонах определяют угол наклона и степень развития растительного покрова.

Для изучения процессов развития овражной эрозии нами были изучены овражные формы рельефа в различных ландшафтных подзонах западной части Жетысу Алатау. Изучение оврагов проводилось как в полевых, так и в камеральных условиях, с использованием данных космических снимков за различные годы съемки. Для примера ниже приведем результаты изучения и описание типичных оврагов хребта Малайсары и долины реки Мукры, где наиболее интенсивно протекает овражная эрозия.

Овраги хребта Малайсары. Территория хребта Малайсары занимает площадь около 1350 кв. км и простирается в широтном направлении. На хребте четко выделяются северные и южные склоны, в связи с чем развитие овражной эрозии на разных склонах проходит с разной интенсивностью. Изучаемый район хребет Малайсары характеризуется широким распространением оврагов, различающихся по длине, глубине, ширине и уровню эрозионной активности. Высота территории над уровнем моря 500–1100 м, при длине склонов от 3000 до 10500 метров. Сложная форма склонов переходит от выпуклых участков к вогнутым. Перепады высот и крутизна склонов от 0,5° до 3,2° создают благоприятные условия для формирования водных потоков, превышающих

допустимые размывающие скорости почвогрунта и горных пород. На верхней части хребта выходы скальных пород в отдельных случаях создают более сложную сеть развития эрозионно-аккумулятивных процессов в пределах овражного русла.

На хребте Малайсары посчитаны и определены 57 овражно-саевых сетей, из них по северному склону зафиксировано 38 и по южному склону – 19. На северном склоне длина овражно-саевой сети колеблется от 88 м до 12300 м и имеют следующие морфометрические характеристики: на вершинной части глубина от 1,5 м до 10,8 м, ширина от 3,2 м до 37,4 м; на средней части глубина от 1,3 м до 16,4 м, ширина от 2,7 м до 58,7 м; на нижней части глубина от 0,9 м до 21,5 м, ширина от 4 м до 97,3 м. На южном склоне длина овражно-саевой сети колеблется от 63 м до 1859 м и имеют следующие морфометрические характеристики: на вершинной части глубина от 1,5 м до 4,3 м, ширина от 3,8 м до 14,5 м; на средней части глубина от 1,7 м до 6,7 м, ширина от 3,7 м до 23,4 м; на нижней части глубина от 1,4 м до 6,9 м, ширина от 4,3 м до 38,5 м. В Приложении П.1 представлены морфометрические показатели зафиксированной овражно-саевой сети хребта Малайсары.

По морфометрическому описанию отдельных оврагов для примера приведем данные изученного оврага на северном склоне хребта Малайсары (44°19'87,7" с.ш., 76°58'00,5" в.д., 235 километр автодороги Алматы-Баканас). Исследуемый овраг имеет крутые симметричные склоны (до 70°), ширина на вершине от 5,3 м до 181,5 м на самой широкой части, глубина на вершине 1,9 м, на середине 10,4 м и ближе к базису 14,2 м. Общая длина оврага по тальвегу – 4042 м. Уклоны: минимальный – 0,6° максимальный – 6,7°, средний уклон 0,3°-2,6°. Водосборная площадь изучаемого оврага составляет 2,36 км.кв. Базисом овражно-саевой сети хребта чаще всего являются выравненные участки предсклоновых равнин, сухие русла и тальвеги балок.

Поперечный профиль в основном имеет V-образную форму, также встречаются каньонообразные и ящикообразные формы с прямыми и крутыми склонами. Поперечный профиль оврагов может сменяться в верхней части от V-образной формы к U-образной форме в нижней части (рисунок 4.5). Продольный профиль ступенчатый, крутой дугообразный, пологий дугообразный и имеет довольно большую крутизну тальвега. Вид овражной сети в плане древовидный и гребенчатый. Крутизна склонов варьируется от 1° до 10°, но очень редко встречаются крутые склоны до 30 °м. На вершинах оврага имеются суффозионные воронки, в образовании которых принимает участие суффозионное подкапывание. Сравнительные фотографии разных лет (рисунок 4.6) за 2013 и 2018 гг. показывают увеличение и углубление суффозионной воронки [184].

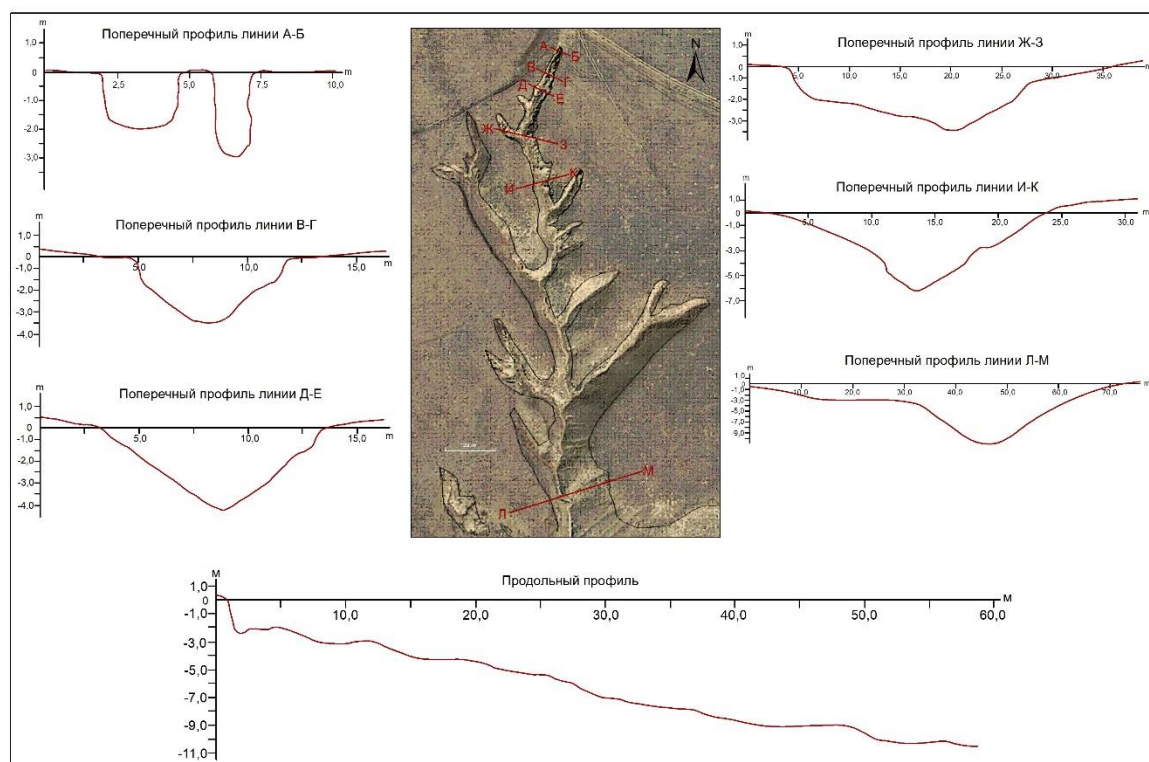


Рисунок 4.5 – Продольный и поперечный профили оврага



2013 год



2018 год

Рисунок 4.6 – Суффозионная воронка на вершинной части оврага на северном склоне хребта Малайсары

Овраги долины реки Мукры. Исток реки Мукыр расположен в западной части Жетысу Алатау в горах Шаган (2551 м), а затем через 100 км она впадает в р. Биже, в бассейне реки Каратал. Воды реки Мукыр используются для орошения полей фермерских хозяйств и садов, где выращивают плодовые, кормовые и зерновые культуры. Наши исследования овражной эрозии в долине реки Мукыр направлены на выявление площадного распространения оврагов, скорости их роста, а также других причин ее развития.

По космическим снимкам и полевым материалам на территории исследования были выделены овраги, находящиеся на разных стадиях своего развития (Приложение П.2). Исследования показали, что по правому борту долины реки Мукыр развито 34, а по левому борту 10 овражно-саевых сетей, которые в плане имеют ветвящийся вид. Их поперечные профили клиновидные и трапециевидные, а продольные профили полого-вогнутые (Приложение П.3) [170, 171].

Результатами выполненных работ являются количественные морфометрические данные оврагов исследуемого региона. Анализ изученных данных позволяет картировать овражные формы рельефа, выявить определенные закономерности в особенностях морфологии и динамики овражной эрозии.

4.2. Динамика овражной эрозии

Одним из основных показателей овражной эрозии служит динамика овражной эрозии. Изучение динамики имеет большое значение для обоснованного планирования и проведения противозерозионных мероприятий, для проектирования инфраструктурных объектов, для решения научных задач геологии, геоморфологии и других наук. Определив динамику роста оврагов, можно объективно оценивать потенциальный ущерб, причиняемый сельскому хозяйству и селитебным территориям, определять скорость разрушения земель и прогнозировать развитие овражной эрозии.

Динамика развития оврагов фиксируется по отдельным годам и сезонам как на одном, так и на разных ключевых участках. Кроме того, необходимо учитывать, что рост оврагов происходит неравномерно в процессе их развития.

На протяжении всей истории за наблюдением деградации земель, овражная эрозия признавалась одним из её главных процессов и во многих случаях была напрямую связана с не правильным управлением земельными ресурсами. С начала XX века появляется все больше публикаций по этой теме, описывающих ее важность, основные процессы и факторы, а также пагубные последствия овражной эрозии. Одним из первых исследований по динамике овражной эрозии можно отнести изучение оврага Лайелла (США, штат Джорджия) проводимые с 1846 года по нынешний день [17].

Первые сведения по изучению динамики овражной эрозии в Европейской части России появились во второй половине XIX веке в работах В.И. Масальского. В России овражная эрозия активизировалась после проведения земельных реформ, где на целинных землях проводилась интенсивная распашка.

Есть сведения о росте оврагов на 180 м за один ливень [36]. Среднегодовой рост вершин оврагов в разных странах в зависимости от условий развития колеблется от 0,7 до 10 м/год. Например, на территории Удмуртии (Россия) по наблюдению 100 оврагов по 20-летнему периоду выявили среднюю скорость линейного роста в период с 1959 по 1974 гг. – 2,17 м/год, 1974-1980 гг. – 1,83 м/год, в период 1980-1987 гг. – 0,72 м/год [11].

Основными источниками сведений о динамике оврагов в западной части Жетысу Алатау являются многочисленные натурные данные и сравнительный анализ разновременных космических снимков о линейном росте вершин. Кроме линейного роста вершин оврага немаловажными показателями динамики овражной эрозии являются глубинная эрозия и расширение оврага по ширине. Линейный рост совместно с расширением оврага по ширине дает площадное развитие овражной эрозии. Глубинный рост оврага в совокупности с линейным ростом и расширением оврага по ширине дает потерянный внутренний объем, т.е. вынесенного твердого материала. Эти признаки развития оврагов являются главными показателями разрушительной силы оврага, приносящий вред сельскохозяйственным угодьям, дорогам, населенным пунктам и инженерным сооружениям.

Современную динамику развития овражной эрозии западной части Жетысу Алатау можно оценивать различными характеристиками:

- линейная (прирост вершинной части оврагов, изменение ширины и глубины);
- площадная (увеличение площади, занятой оврагом);
- объемная (определение объема материала, выносимого оврагом).

Во время полевых работ с 2012 по 2017 гг. на исследуемых участках западной части Жетысу Алатау проводились замеры линейного, площадного прироста оврагов, их углубления, определение количества смытого грунта, описания сопутствующих процессов, протекающих на склонах и днищах. При проведении наблюдений применялись методы фиксирования вершин оврагов жесткими реперами и наземное лазерное сканирование. Дальнейшая обработка полученных данных проводилась в камеральных условиях.

На участке №1 в долине реки Мукур по полученным результатам, рост вершин наблюдаемых оврагов составляет – 0,3-4,7 м/год. За 5 лет наблюдений расчет среднегодового роста 6 вершин оврагов составляет 2,56 м/год. На построенной диаграмме (рисунок 4.7) показан рост вершинных частей оврагов за период 5-летних наблюдений. Среднегодовой смытый объем грунта вершинной части оврагов составляет – 13,81 м³ (таблица 4.1). Годовой смытый объем грунта оврага (44°50'28,4"с.ш., 78°07'54,6"в.д.) по данным наземного лазерного сканирования за 2017 и 2018 годы наблюдения составил 389,37 м³. Преобладающий прирост оврага приходится на весенний период. К основным факторам, определяющим рост оврагов, относятся интенсивность весеннего стока и ливни, литологический состав пород и морфометрия рельефа. Полученные данные позволяют утверждать, что овражная эрозия является наиболее активным фактором преобразования рельефа в долине реки Мукур. Требующие наибольшего внимания являются овраги, вершины которых

врезаются в поля и пастбища. Из полей по тальвегам данных оврагов на низкие гипсометрические уровни (поймы и террасы рек) и водоемы выносятся компоненты минеральных удобрений и пестицидов, тем самым загрязняя водную среду [170].

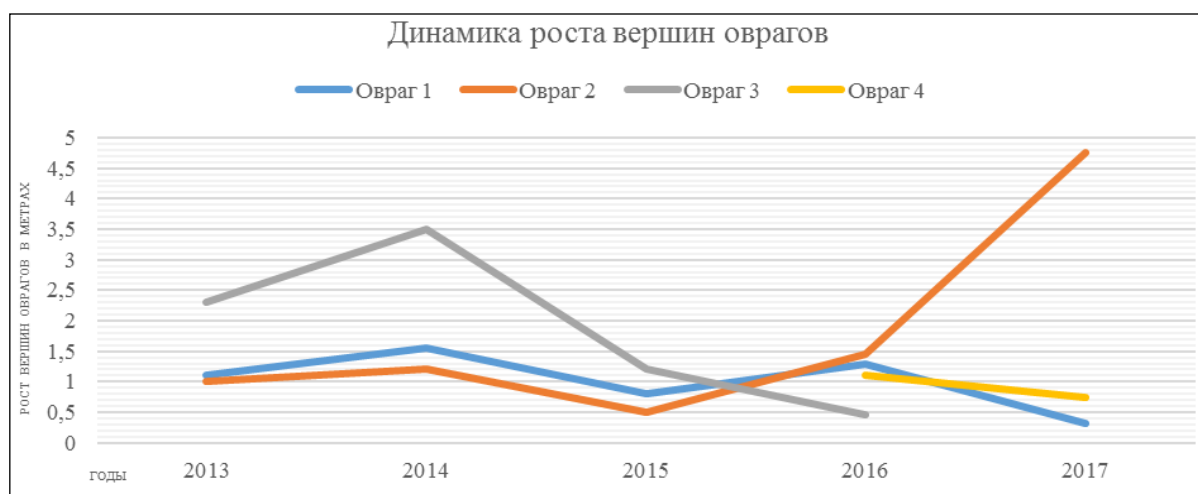


Рисунок 4.7 – Диаграмма роста вершин оврагов в долине р. Мукыр

Таблица 4.1 – Линейный рост вершин оврагов (м) и смытый объем грунта по годам (м³) участка №1 (долина р. Мукыр)

Пункт исследования, № по GPS, координаты.	Вер-шины	2013	2014	2015	2016	2017	Сред. рост за 5 лет
с. Мукры, 3 км юго-западнее, 235 км автодороги Мукры-Алматы, (686-690). 44°50'28,4"с.ш., 78°07'54,6" в.д.	А	$\frac{1,1}{20}$	$\frac{1,55}{25}$	$\frac{0,8}{18}$	$\frac{1,3}{22}$	$\frac{0,32}{7}$	$\frac{1,014}{18,4}$
	С	$\frac{1}{11}$	$\frac{1,2}{16}$	$\frac{0,5}{4,3}$	$\frac{1,45}{16}$	$\frac{4,75}{14}$	$\frac{1,78}{12,26}$
(691-692) 44°50'28,4"с.ш., 78°07'54,6" в.д.		$\frac{2,3}{8}$	$\frac{3,5}{18}$	$\frac{1,2}{1,45}$	$\frac{0,45}{0,25}$	-	$\frac{1,86}{6,92}$
(409-410) 44°50'36,1"с.ш., 78°08'10,9" в.д.					$\frac{1,1}{20}$	$\frac{0,74}{20}$	$\frac{0,92}{20}$
(766-769) 44°52'00,2"с.ш., 78°08'58,1" в.д.				0,3	0	0	$\frac{0,1}{0}$

На ключевых участках проводились наблюдения за динамикой овражной эрозии с помощью разновременных космических снимков. В результате исследования получены линейный рост и площадное развитие оврагов. Для исключения ошибок дешифрирования снимков западной части Жетысу Алатау в ходе полевых работ была проведена верификация полученных данных. По ее результатам сделаны корректировки данных и составлены карты-схемы оврагов

по линейному и площадному развитию 22 оврагов, с 2003 по 2022 гг. по всем ключевым участкам. Составленные карты представлены в Приложении Р.

Динамика оврагов ключевого участка №1 наглядно показана на рисунке 4.8, где максимальный линейный рост оврага составляет 80,5 м (овраг №5, участок 1, координаты: 44°40'38,97" с.ш., 78°07'11,89" в.д.). Данный овраг с 2003 по 2019 гг. увеличивался со средней скоростью 5 м/год. Такой показатель является уникальным, так как ранее очень активного линейного роста оврага на территории исследования не наблюдалось.

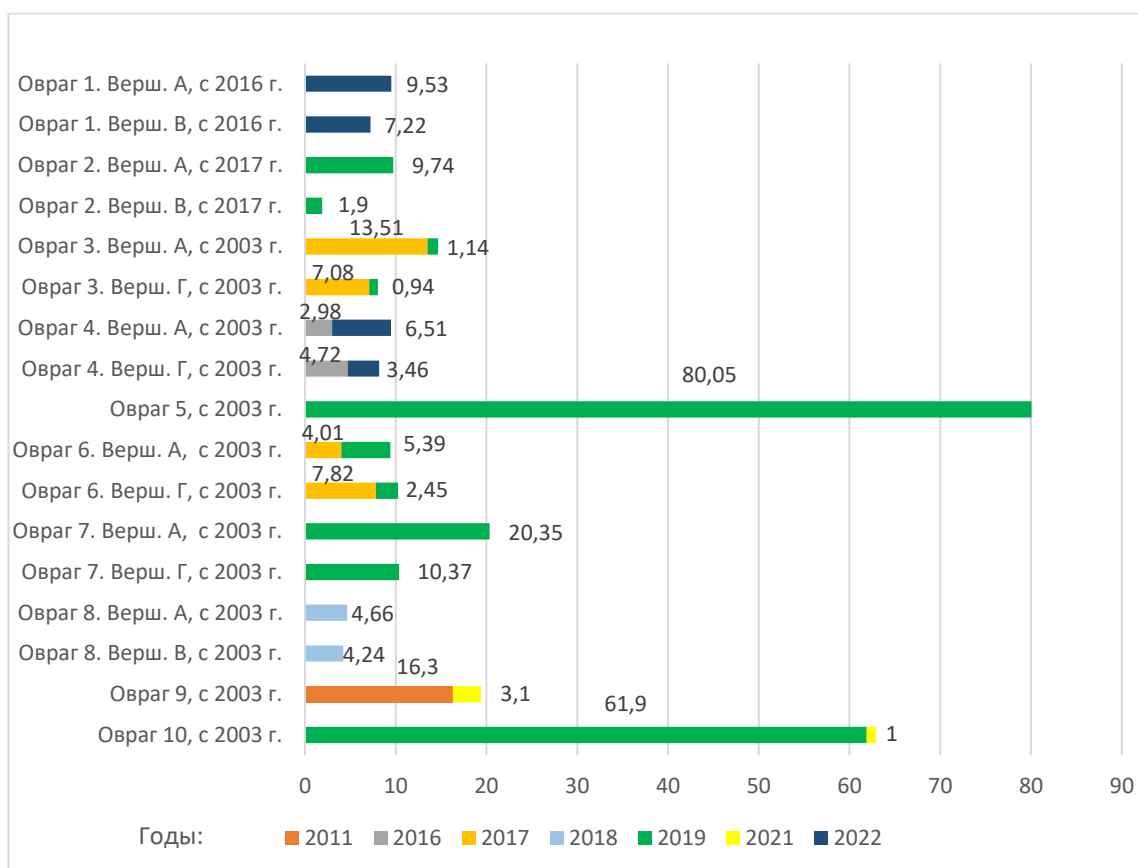


Рисунок 4.8 – Линейный рост вершин оврагов участка №1 по данным космических снимков с 2003 по 2022 гг., в м

Овраг №5 1-го участка с 2003 по 2019 годы наиболее интенсивно увеличивался в площадном развитии – до 1601,79 м². Линейное и площадное развитие данного оврага отражено на рисунке Р.1.

Минимальный линейный рост 0,28 м/год (с 2003 по 2018 года) выявлен у оврага №8 (44°44'21,65" с.ш., 77°56'04,16" в.д.). Минимальное площадное развитие зафиксировано при исследовании оврага №9 (44°40'38,97" с.ш., 78°07'11,89" в.д.) – 11,11 м²/год (с 2003 по 2019 года). Карты-схемы остальных наблюдаемых оврагов площадной и линейной динамики по ключевому участку №1 показаны в Приложении Р.

По первому участку средний линейный рост оврагов с 2003 по 2022 годы составляет 1,43 м/год, а среднее площадное развитие – 95,05 м²/год. Такие значения роста оврагов на участке №1 считаются довольно высокими от

усредненного показателя наблюдаемых значений прироста оврагов мира, где по анализу выявлено 0,89 м/год [20]. Полученные результаты по динамике оврагов ключевого участка №1 подтверждают изначальные предположения существования сильной овражной эрозии на этой территории по наличию комплекса природно-антропогенных факторов. Данный участок в западной части Жетысу Алатау был выбран по категории, где овражная эрозия сильно развита.

Ключевой участок №2 расположен южнее 1,5 км от с. Сарыозек, где также проводилось выявление динамики овражной эрозии. Местоположение ключевого участка важно для мониторинга по воздействию овражной эрозии на селитебные территории, так как в с. Сарыозек и сопутствующих территориях распространяется овражная эрозия. Проводились замеры линейного и площадного прироста оврагов, их углубления, а также наблюдения за сопутствующими процессами, протекающих на склонах и тальвегах оврагов. Рост вершин наблюдаемых оврагов не большой у с. Сарыозек и составляет 0,11-0,18 м/год (таблица 4.2). Среднегодовой смытый объем грунта вершин оврагов – 0,25м³. Рост оврага в основном приходится на весенний период и частично осенью. Основные факторы развития оврагов на втором участке – весенний сток, обильные осадки, интенсивные дожди, крутизна склонов. Активизирует формирование оврагов на данном участке механический состав горных пород, составляющий литологическую основу из неогеновых отложений, сложенный лессовидными тяжелыми суглинками [154].

Таблица 4.2 – Линейный рост вершин (м) и смытый объем грунта оврагов по годам (м³) участка №2 (у с. Сарыозек)

Пункт исследования, № по GPS, координаты.	2013	2014	2015	2016	2017	Сред. рост за 5 лет
Южнее с. Сарыозек, 1,9 км автодороги Сарыозек – Хоргос. (790-792) 44°20'09,8"с.ш., 77°58'12,1" в.д.	<u>0,11</u> 0,025	<u>0,07</u> 0,015	<u>0,08</u> 0,015	<u>0,12</u> 0,03	<u>0,18</u> 0,04	<u>0,11</u> 0,02
(796-797) 44°20'09,8"с.ш., 77°58'12,1" в.д.	<u>0,18</u> 0,17	<u>0,26</u> 0,2	<u>0,24</u> 0,21	<u>0,14</u> 0,3	<u>0,1</u> 0,24	<u>0,18</u> 0,22

На участке №2 по наблюдениям темпов роста оврагов с использованием космических снимков выявлен максимальный рост – 19,65 м (овраг №1, 44°20'07,05" с.ш., 77°58'07,11" в.д.) за период 2016-2022 гг. Среднегодовой рост вершин оврагов по второму участку составляет 0,88 м/год. Общая картина линейного роста наблюдаемых оврагов участка №2 по данным космических снимков отражена на рисунке 4.9.

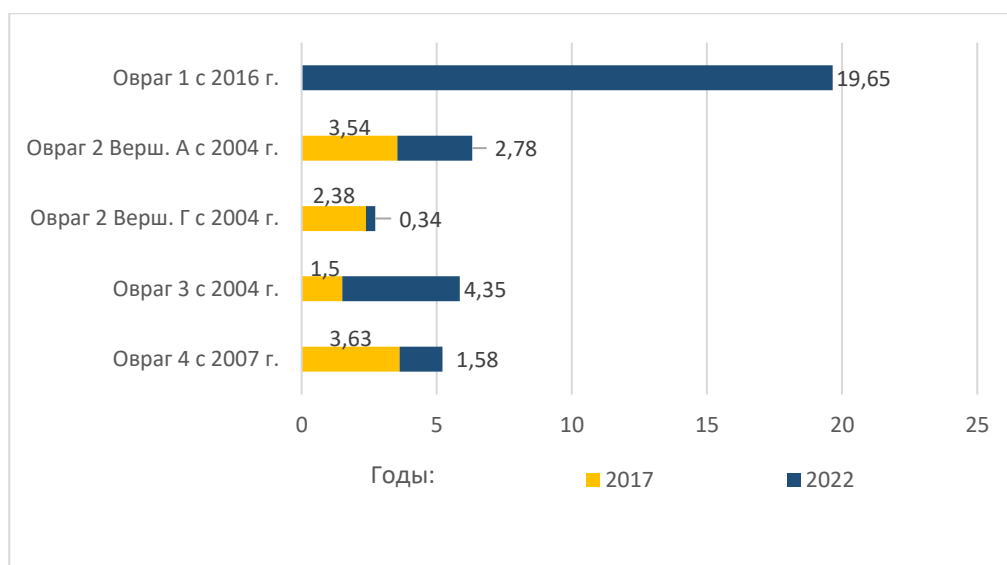


Рисунок 4.9 – Линейный рост вершин оврагов участка №2 по данным космических снимков с 2004 по 2022 гг., в м

На данном мониторинговом участке овраги также активно распространяются по площади. В площадном соотношении среднегодовой рост оврагов колеблется от 8,06 до 84,08 м²/год, итоговый среднегодовой рост – 30,33 м²/год. Эволюция наблюдаемого оврага в площадном соотношении наглядно представлена в Приложении С.1, где с 2004 по 2022 годы овраг вырос на 290,25 м². Зафиксирован процесс максимального роста оврага по площади составляющего – 504,52 м² (овраг №1, 44°11'15,91" с.ш., 77°52'11,36" в.д.), карта схема представлена в Приложении С.2. Динамика по линейному росту и площадному распространению исследуемых оврагов ключевого участка №2 представлена на карта-схемах в Приложении С.

Мониторинговый участок №3 был выбран на плато Итжон. Овраги для изучения находятся в 35 км севернее от г. Конаев. Были проведены полустационарные наблюдения и дополнительное изучение овражной эрозии. Максимальный рост изучаемых оврагов зафиксирован со значением – 3,5 м/год и минимальный – 0,08 м/год. На мониторинговом участке средний линейный рост вершин оврагов составил 0,78 м/год, а средний смытый объем грунта вершин оврагов – 7,85 м³/год за период 2013-2017 гг. По данным 2017–2018 годов, полученным наземным лазерным сканированием, годовой смытый объем грунта оврага (44°10'57,34" с.ш., 76°59'39,51" в.д.) – 19,54 м³. Полевые данные по динамике оврагов участка показаны в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Линейный рост вершин оврагов (м) и смытый объем грунта по годам (м³) участка №3 (плато Итжон)

Пункт исследования, № по GPS, координаты.	Вершины	2013	2014	2015	2016	2017	Сред. рост за 5 лет
---	---------	------	------	------	------	------	---------------------

Плато Итжон, 235 км автодороги Алматы-Баканас, (447-450) 44°10'43,6"с.ш., 77°01'76,3" в.д.		<u>2,7</u> 60	<u>3,5</u> 68	<u>2,05</u> 12	<u>1,2</u> 5,5	<u>0,5</u> 1,2	<u>1,99</u> 29,34
Плато Итжон, 235 км автодороги Алматы-Баканас, (820-821) 44°10'52,1"с.ш., 76°59'40,6" в.д.		<u>1</u> -	<u>0,95</u> 2,6	<u>1,2</u> 2,8	<u>0,4</u> 1	<u>0,25</u> 1,3	<u>0,76</u> 1,92
Плато Итжон, 235 км автодороги Алматы-Баканас, (443-446) 44°10'52,1"с.ш., 76°59'40,6" в.д.	А	<u>0,25</u> 0,1	<u>0,4</u> 0,1	<u>0</u> 0	<u>0,12</u> 0,035	<u>0,18</u> 0,06	<u>0,19</u> 0,06
	В	<u>0,2</u> 0,1	<u>0,3</u> 0,1	<u>0,2</u> 0,1	<u>0,14</u> 0,1	<u>0,08</u> 0,04	<u>0,18</u> 0,09

При изучении динамики оврагов с использованием космических снимков на участке №3 выявлен максимальный рост – 16,09 м (овраг №1, 44°10'54,12" с.ш., 76°56'50,17" в.д.) за период с 2010-2014 гг. Среднегодовой рост вершин оврагов по второму участку составляет 2,09 м/год. Динамика развития наблюдаемых оврагов третьего участка показана на рисунке 4.10.

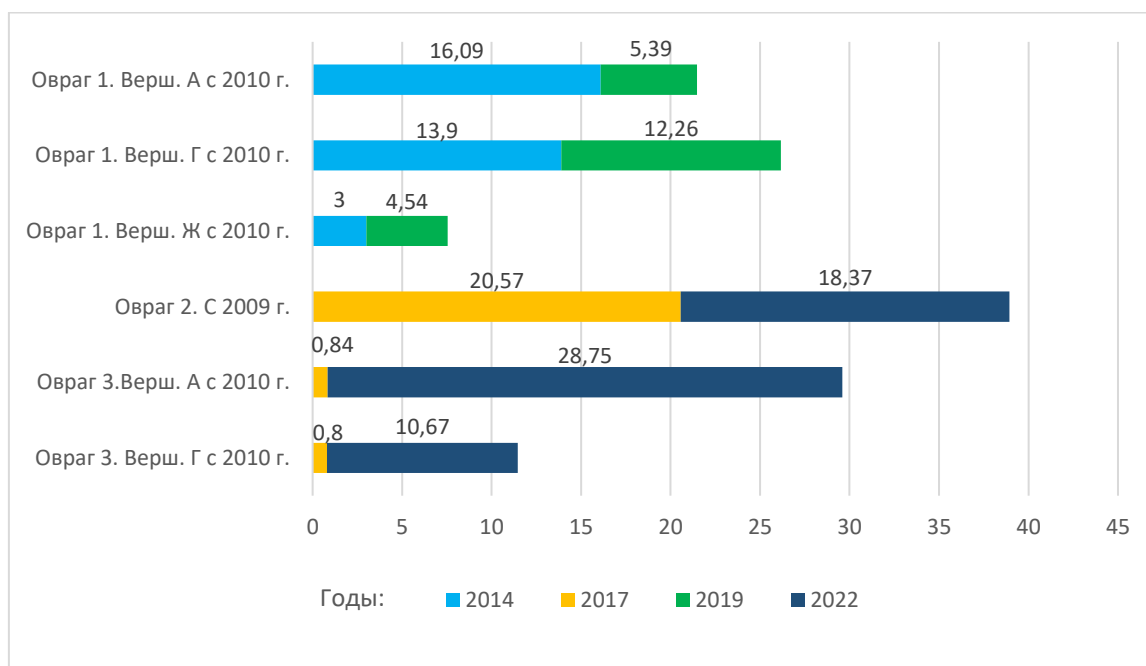


Рисунок 4.10 – Линейный рост вершин оврагов участка №3 по данным космических снимков с 2009 по 2022 гг., в м

Площадное развитие овражной эрозии на третьем участке, как и на предыдущих участках, имеет также положительную динамику, а в некоторых оврагах оно имеет более активный рост. Например, овраг №3 по площади с 2010 по 2022 года вырос до 1735,54 м² (Приложение Т.1). Причиной роста оврага являются проложенные на близком расстоянии полевые дороги в сторону реки Иле в западном направлении, которые в свою очередь нарушили местный баланс водо-распределения водосборной площади склона. На ключевом участке часто встречаются овраги вдоль полевых дорог либо овраги, которые сформировались

по самой колее этих дорог. В площадном развитии среднегодовой рост наблюдаемых оврагов участка №3 с 2009 по 2022 годы составил 116,37 м²/год. Развитие овражной эрозии ключевого участка №3 по линейному росту и площадному распространению представлено на карта-схемах в Приложении Т.

В песчаных пустынях склоны оврагов быстрее подвергаются эоловой переработке и выполаживанию, но часто и они долго сохраняют первичный вид после редких ливней, их сформировавших. Особенно благоприятные условия для формирования тоннельной эрозии и овражной сети создаются в легко размываемых рыхлых осадочных породах: в лессах, лессовидных суглинках, супесях и песках. В них часто формируется чрезвычайно густая эрозионная сеть промоин и оврагов и образуется рельеф типа бедленд [185]. На плато Итжон, несмотря на более песчаный литологический состав и выположенную поверхность, овражная эрозия встречается повсеместно довольно активно проявляясь. Этому свидетельствуют проведенные полустационарные наблюдения и полученные сравнительные данные разновременных космических снимков.

Следующий ключевой участок для исследования был выбран в западной части хребта Малайсары. На ключевом участке №4 при полевых наблюдениях оврага было зафиксировано разветвление вершинной части в восточном и западном направлениях, тем самым образуя разные вершины. Начало разветвления вершинной части оврага показано на рисунке 4.11. Данные вершины нами были условно обозначены А и Б.



Вершинная часть оврага (2013 год)



Вершинная часть оврага (2017 год)

Рисунок 4.11 – Начало разветвления исследуемой вершины оврага

Далее, для дальнейшего выявления динамики установлены разные репера на вершинах А и Б. На построенной диаграмме (рисунок 4.12) можно заметить примерно одинаковую динамику линейного роста вершин одного оврага, это закономерно, так как имеют общие факторы оврагообразования. Линейный рост вершин наблюдаемого оврага составлял от 0,1 до 0,83 м/год, при среднегодовом росте 0,45 м/год. Средний смытый объем грунта вершин оврагов – 2,8 м³/год (за

период 2012–2018 гг.). По данному оврагу процесс разветвления вершин доказывает активность овражной эрозии на ключевом участке №4. Среднегодовой рост изучаемого оврага в 2 раза меньше, чем усредненное значение линейного роста оврагов Земли, чем объясняется месторасположением исследуемого оврага на аридных территориях. Для дальнейшего изучения темпа прироста оврагов участка №4 необходим детальный анализ гидрометеорологических параметров и условий землепользования [11].

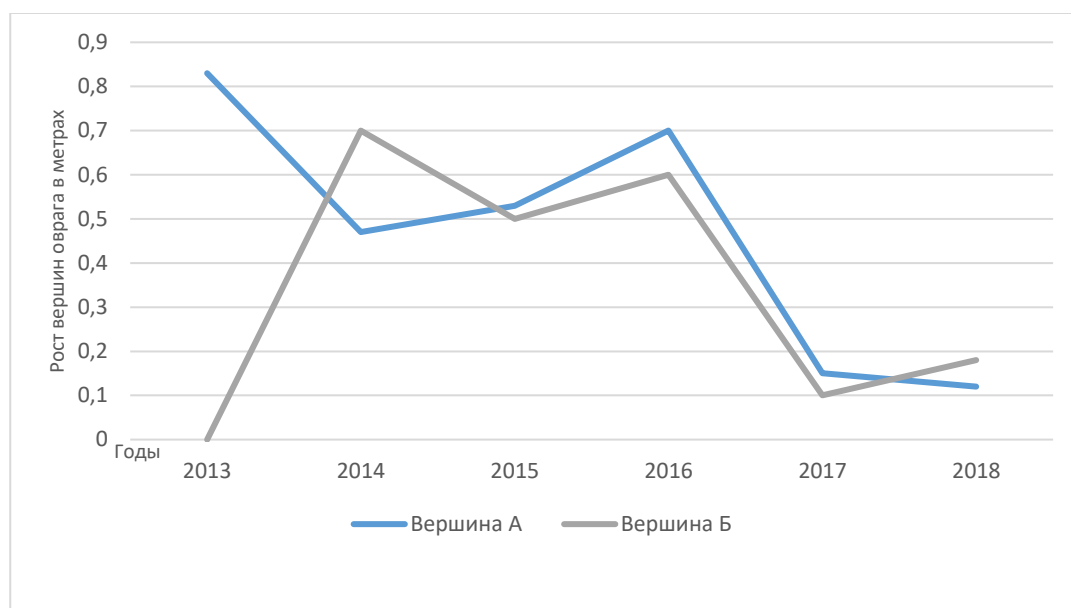


Рисунок 4.12 – Диаграмма роста вершин оврага на западной части хребта Малайсары

По результатам анализа разновременных космических снимков по участку №4 максимальный рост оврага составил 16,8 м (вершина А оврага №1, 44°19'15,72" с.ш., 76°57'31,74" в.д.) за период 2010-2019 гг. Такой высокий рост оврага объясняется влиянием автодороги Алматы-Баканас (с западной стороны). Во время осадков накопленная вода вдоль полотна автодороги пропускается через дренажные отводы, направляя основной поток воды в сторону существующих оврагов, тем самым активизируя овражные процессы. Среднегодовой рост вершин оврагов по четвертому участку составляет 1,06 м/год. Линейный рост вершин оврагов участка №4 с 2010 по 2019 годы показан на рисунке 4.13.

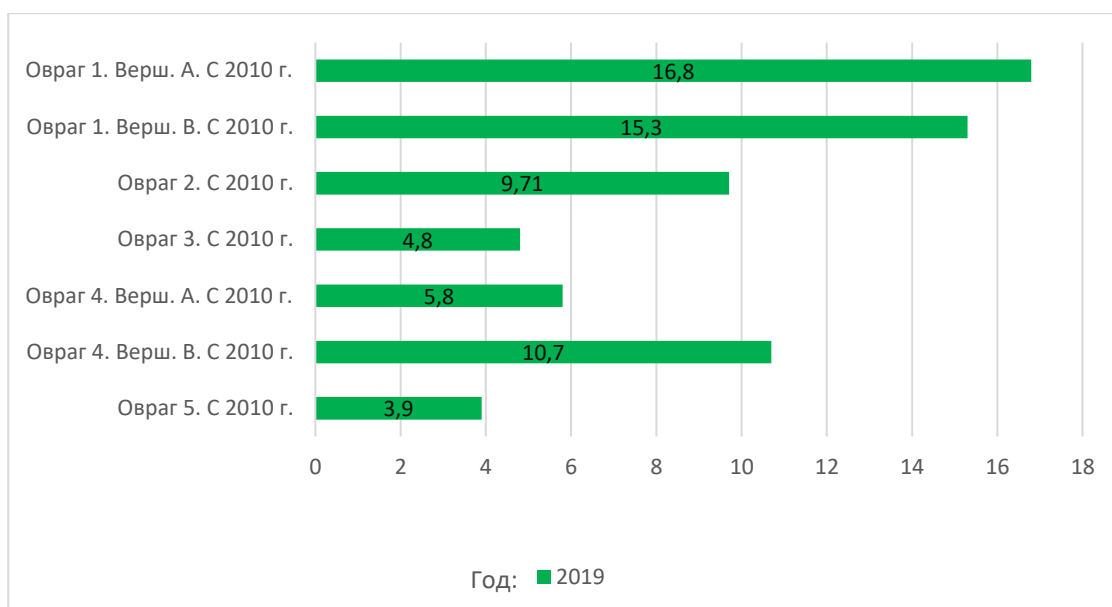


Рисунок 4.13 – Линейный рост вершин оврагов участка №4 по данным космических снимков с 2010 по 2019 гг., в м

На этом участке площадное развитие овражной эрозии имеет свою активность. Например, овраг №1 с 2010 по 2019 годы по площади вырос до 780,6 м² (Приложение У.1). На развитие данного оврага влияют как природные, так и антропогенные условия, в виде проложенной автодороги. По ключевому участку проходят автотрасса и сеть полевых дорог, которые воздействуют на распределение водного потока по склону водосбора. Среднегодовой рост оврагов четвертого участка с 2010 по 2019 годы составляет 38,51 м²/год. Наземное лазерное сканирование определило объем смытого грунта оврага (44°19'52.61"с.ш., 76°58'0.73"в.д.) за период 2017 – 2018 годы в 132,02 м³. Динамика овражной эрозии ключевого участка №4 по линейному росту и площадному распространению представлена в Приложении У.

Анализ линейного роста оврагов в западной части Жетысу Алатау на мониторинговых участках по результатам полевых работ за период 2013-2017 гг. показал рост оврагов от 0,1 до 3,5 м/год, при среднем значении – 0,77 м/год. Данные по смытому объему грунтов вершин оврагов за указанный период составляет от 0,01 до 68 м³/год со средним показателем – 9,36 м³/год. Необходимо отметить, что смыв грунтов происходит с множества отвершков, бровок, откосов и по днищу оврага. В результате деятельности овражной эрозии размывтый грунт с водой стекает по тальвегам оврагов, где часть грунта образует не большие конусы выноса, а часть стекает в основное русло рек. По наблюдениям темпа роста оврагов с использованием космических снимков среднегодовой рост вершин оврагов составил – 1,38 м/год. Полученные значения линейного роста оврагов близки усредненному значению других районов Земли составляющий 0,89 м/год, при этом амплитуда диапазона значений этих показателей по Земному шару разнообразна – от 0,01 до 135,2 м/год [20]. При исследовании получено среднее значение площадного развития оврагов, составляющее 73,34 м²/год. Условиями для развития скорости роста овражной

в ходе исследования эрозии западной части Жетысу Алатау нами выявлены благоприятные условия рельефа, литологические свойства грунтов, гидрометеорологические показатели и интенсивность сельскохозяйственного использования земель. Высокие показатели роста оврагов на некоторых участках свидетельствуют о неблагоприятной ситуации на местах, требующие принятия противоэрозионных мер. Полученные результаты доказывают достоверность проведенных исследований по динамике овражной эрозии в западной части Жетысу Алатау. Данные анализа динамики развития оврагов исследуемых участков представлены в Приложениях Т-У.

В зависимости от вида использования земель линейный рост оврагов меняется, где наименьший рост показывает на пастбищах, сенокосах и пашне, чем других видах хозяйственной деятельности. Орошаемое земледелие и сброс поливных вод при ирригации в западной части Жетысу Алатау ведет к усилению процесса оврагообразования. В естественных условиях обычно линейный рост оврагов активизируется в период весеннего снеготаяния с их водосборов, который в свою очередь связан с толщиной снежного покрова, запасом воды в снеге и глубиной промерзания грунта. Динамика линейного роста оврагов является одним из индикаторов изменения рельефа, рельефообразующих процессов и взаимосвязи с климатическими изменениями. Полученные результаты по темпам оврагообразования дают землепользователям данные о серьезных эколого-экономических последствиях от процессов овражной эрозии, определяющие проведение необходимых противоовражных мероприятий. Распространение овражной эрозии и высокие темпы оврагообразования в некоторых районах Жетысу Алатау говорят о необходимости и актуальности изучения проблемы овражной эрозии в Казахстане. Приведенные данные о динамике оврагов западной части Жетысу Алатау дают возможность рассматривать интенсивность процесса овражной эрозии и в других районах Казахстана.

4.3 Оценка пораженности овражной эрозией западного Жетысу Алатау

Одним из активных и деструктивных современных рельефообразующих процессов является овражная эрозия. На территории исследуемого региона овражная эрозия преимущественно распространена в низкогорных и предгорных территориях запада Жетысу Алатау и представляет собой сложный процесс рельефообразования.

Идентификация и дешифрирование оврагов на космических снимках с применением ГИС-технологий позволили выявить особенности пространственного распределения оврагов в западной части Жетысу Алатау.

Современная овражность территории в западной части Жетысу Алатау характеризуется такими показателями, как общее количество оврагов, их средняя длина, суммарная протяженность, средняя густота ($\text{км}/\text{км}^2$), средняя плотность ($\text{ед}/\text{км}^2$), общая площадь оврагов и ее процентное соотношение от общей площади, средний объём оврагов, средний уклон склонов и другие морфометрические параметры.

Для оценки пораженности овражной эрозией территории западной части Жетысу Алатау были составлены карты густоты овражной сети и плотности оврагов. Для составления этих карт исследуемая территория по анализу полевых материалов и космических снимков разделена на 4 участков в зависимости от распространения овражной эрозии и антропогенной нагрузки. Легенды карт густоты овражной сети и плотности оврагов, степень ее детализации и количество градаций зависят от масштаба. Составленные карты свидетельствуют о неодинаковой интенсивности овражной эрозии в различных участках западной части Жетысу Алатау.

Густота овражной сети. Протяженность овражной сети на единицу площади является общепринятым показателем густоты. Нами на картах по густоте овражной сети выделено 7 категорий:

- овраги отсутствуют;
- очень слабая (менее 2 км/км²);
- слабая (2-4 км/км²);
- умеренная (4-6 км/км²);
- значительная (6-8 км/км²);
- сильная (8-10 км/км²);
- очень сильная (более 10 км/км²).

Участок №1 располагается в междуречье Биже и Мукры. Абсолютные высоты от 500 до 1200 м, склоны с крутизной от 3 до 10°. Повсеместно развиты шлейфы суглинков (мощность от 2,55 до 3,10 м, в среднем 2,87 м), местами галечники и пески. Для выявления закономерности распространения оврагов на исследуемом участке №1 нами была составлена карта густоты овражной сети в масштабе 1:150000 (рисунок 4.14). На участке №1 с площадью 773 км² наиболее развита овражная эрозия и соответственно густота овражной сети более интенсивная.

На этом участке встречаются все 7 категорий густоты овражной сети:

- овраги отсутствуют на 282 км² или 36,48% от общей территории участка;
- очень слабая (менее 2 км/км²) распространена на 171 км² или 22,13% от общей территории участка;
- слабая (менее 2-4 км/км²) распространена на 169 км² или 21,86% от общей территории участка;
- умеренная (менее 4-6 км/км²) распространена на 107 км² или 13,84% от общей территории участка;
- значительная (менее 6-8 км/км²) распространена на 34 км² или 4,4% от общей территории участка;
- сильная (менее 8-10 км/км²) распространена на 9 км² или 1,16% от общей территории участка;
- очень сильная (более 10 км/км²) распространена на 1 км² или 0,13% от общей территории участка.

Распределение густоты овражной сети участка №1 в процентном соотношении показано на рисунке 4.15.

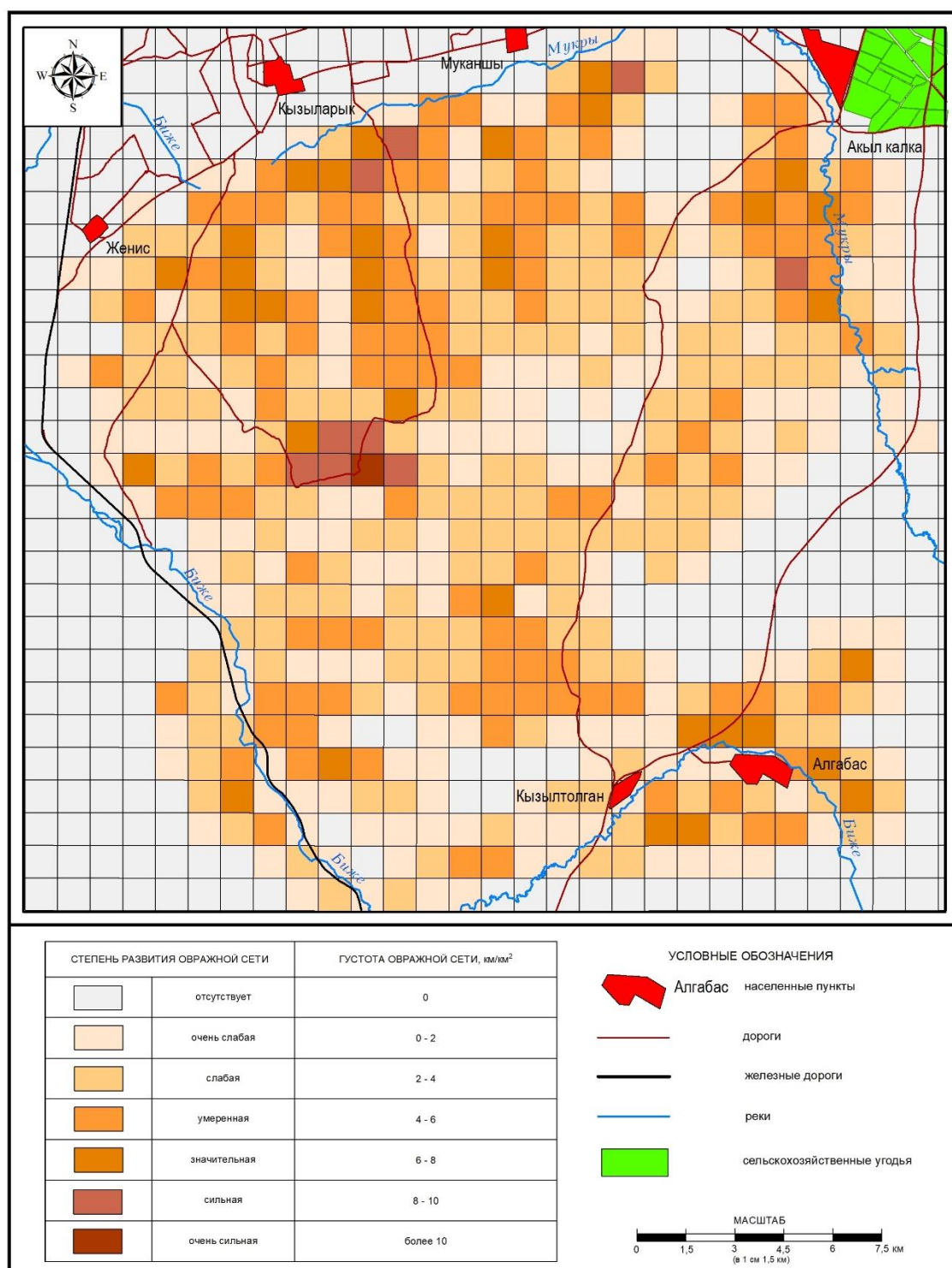


Рисунок 4.14 – Густота овражной сети участка №1, км/км²

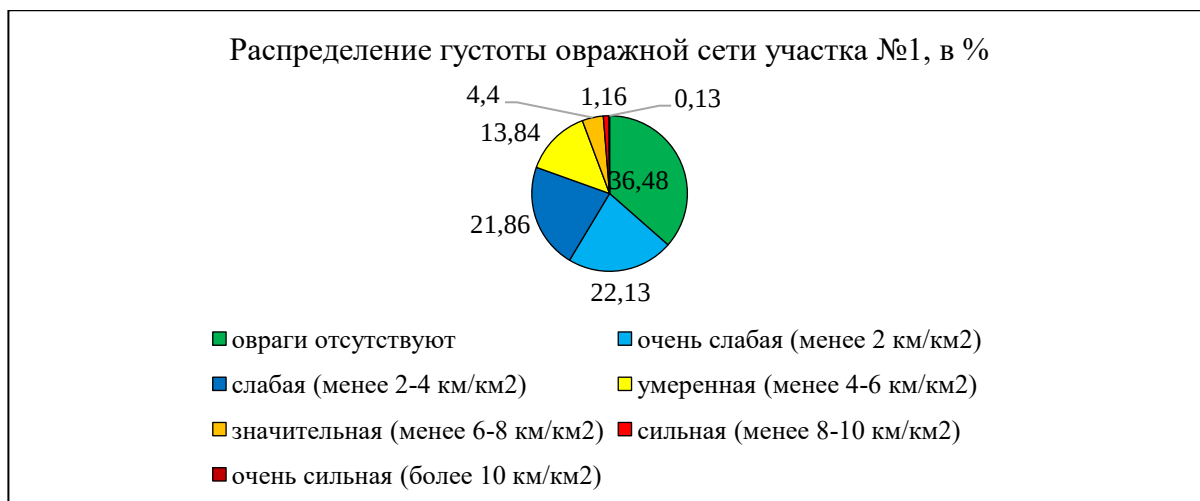


Рисунок 4.15 – Распределение густоты овражной сети участка №1, в %

Участок №2 располагается между хребтом Малайсары и горами Шолак. Абсолютные высоты от 700 до 1600 м, склоны с крутизной от 3 до 15°. Для участка характерны суглинки (мощность от 1 до 15 м), местами супеси.

На участке №2 процесс овражной эрозии относительно менее интенсивен, чем на участке №1 и соответственно густота овражной сети занимает меньше площади. Для участка №2 с площадью 2065 км² нами составлена карта густоты овражной сети в масштабе 1:250000 (рисунок 4.16).

На участке №2 встречаются следующие 6 категорий густоты овражной сети, кроме категории очень сильная:

- овраги отсутствуют на 1576 км² или 76,32% от общей территории участка;
- очень слабая (менее 2 км/км²) распространена на 296 км² или 14,33% от общей территории участка;
- слабая (менее 2-4 км/км²) распространена на 115 км² или 5,57% от общей территории участка;
- умеренная (менее 4-6 км/км²) распространена на 59 км² или 2,86% от общей территории участка;
- значительная (менее 6-8 км/км²) распространена на 15 км² или 0,73% от общей территории участка;
- сильная (менее 8-10 км/км²) распространена на 4 км² или 0,19% от общей территории участка.

Распределение густоты овражной сети участка №2 в процентном соотношении показано на рисунке 4.17.

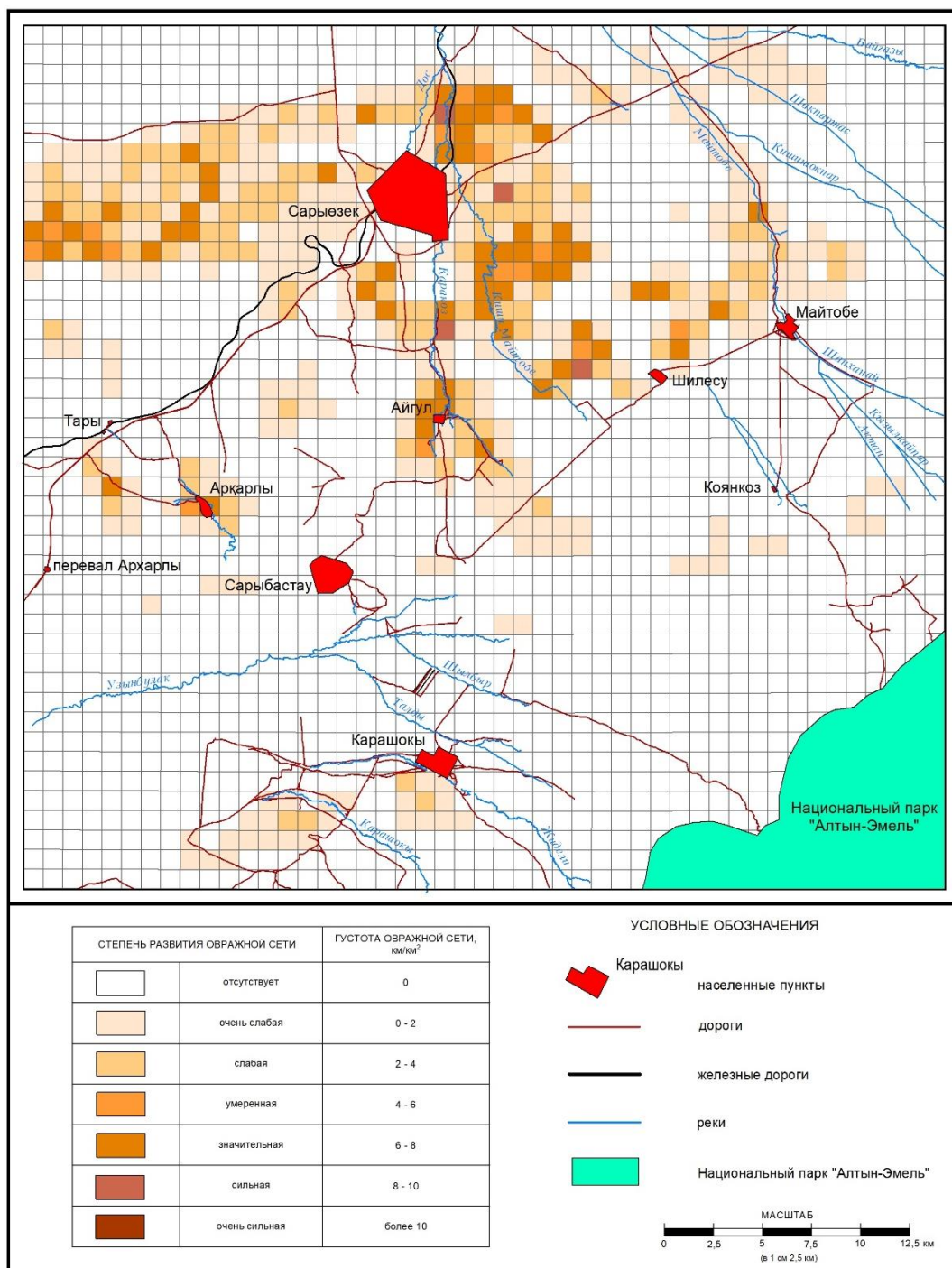


Рисунок 4.16 – Густота овражной сети участка №2, км/км²

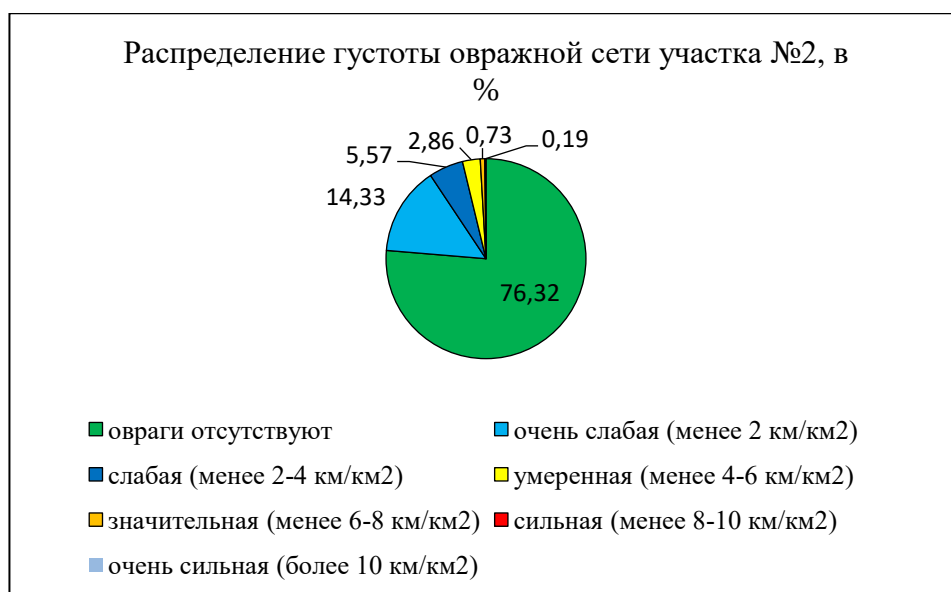


Рисунок 4.17 – Распределение густоты овражной сети участка №2, в %

Участок №3 располагается в пределах плато Итжон, абсолютные высоты от 500 до 700 м, склоны в основном с крутизной до 3° и местами до 5°. Для участка характерны по основной части территорий легкий суглинок (мощность до 2-3 м) и местами южнее супеси. На участке №3 процесс овражной эрозии развит слабо, чем на других исследуемых участках. Для участка №3 с площадью 2025 км² нами составлена карта густоты овражной сети в масштабе 1:350000 (Приложение Ф.1).

На участке №3 встречаются категорий густоты овражной сети – очень слабая, слабая, умеренная. Ниже описываем количественные показатели густоты овражной сети:

- овраги отсутствуют на 1795 км² или 88,64% от общей территории участка;
- очень слабая (менее 2 км/км²) распространена на 193 км² или 9,53% от общей территории участка;
- слабая (менее 2-4 км/км²) распространена на 30 км² или 1,48% от общей территории участка;
- умеренная (менее 4-6 км/км²) распространена на 7 км² или 0,35% от общей территории участка;

Распределение густоты овражной сети участка №3 в процентном соотношении показано на рисунке 4.18.

Слабое развитие овражной эрозии на участке №3 объясняется характером рельефа, где имеются небольшие уклоны волнистой денудационной равнины и литологическим составом пород поверхности.

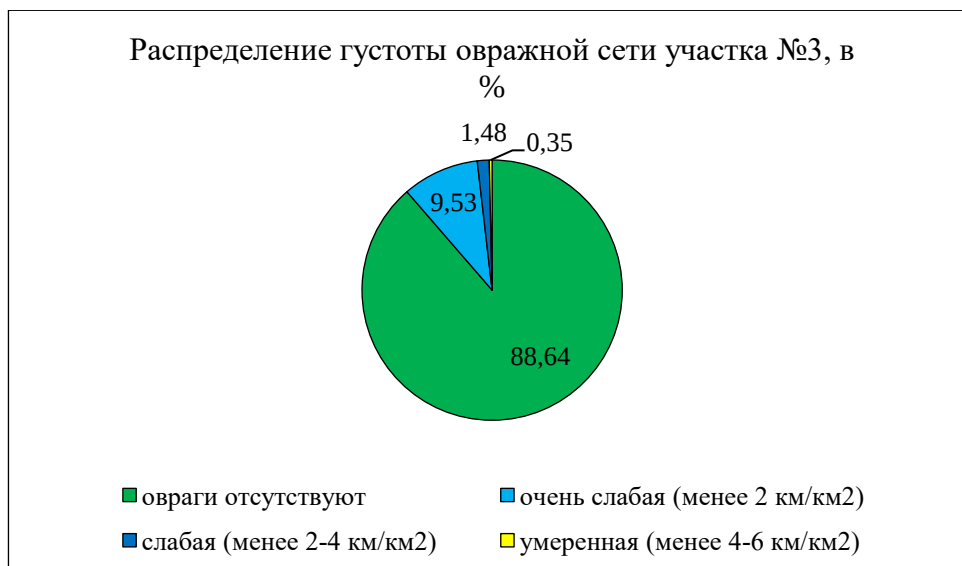


Рисунок 4.18 – Распределение густоты овражной сети участка №3, в %

Участок №4 располагается между рекой Иле и западной оконечностью хребта Малайсары, абсолютные высоты от 500 до 750 м, склоны в основном с крутизной до 3-5° и изредка местами на хребте Малайсары доходит до 15°. Для полноты исследования нами было необходимо выбрать участок, где овражная эрозия развивается максимально в естественных условиях. Критерием выбора мониторингового участка №4 было отсутствие вблизи расположенных сельскохозяйственных полей и населенных пунктов. На участке из антропогенных факторов присутствуют слабый выпас скота и полевые дороги. Для участка №4 с площадью 130 км² нами составлена карта густоты овражной сети в масштабе 1:75000 (Приложение Ф.2).

На участке №4 встречаются категорий густоты овражной сети – очень слабая, слабая, умеренная, значительная и сильная. По результатам исследования на карте густоты овражной сети выявлено 6 категорий:

- овраги отсутствуют на 25 км² или 19,23% от общей территории участка;
- очень слабая (менее 2 км/км²) распространена на 58 км² или 44,62% от общей территории участка;
- слабая (менее 2-4 км/км²) распространена на 19 км² или 14,61% от общей территории участка;
- умеренная (менее 4-6 км/км²) распространена на 15 км² или 11,54% от общей территории участка;
- значительная (менее 6-8 км/км²) распространена на 12 км² или 9,23% от общей территории участка;
- сильная (менее 8-10 км/км²) распространена на 1 км² или 0,77% от общей территории участка.

Распределение густоты овражной сети участка №4 в процентном соотношении показано на рисунке 4.19.

Не смотря на наличие минимальных антропогенных факторов, влияющих на рост оврагов на участке, овражная эрозия развита интенсивно. Это объясняется особенностью морфометрических характеристик рельефа и

литологических свойств поверхностных грунтов. Овражная эрозия на данном участке больше развивается в естественных условиях.

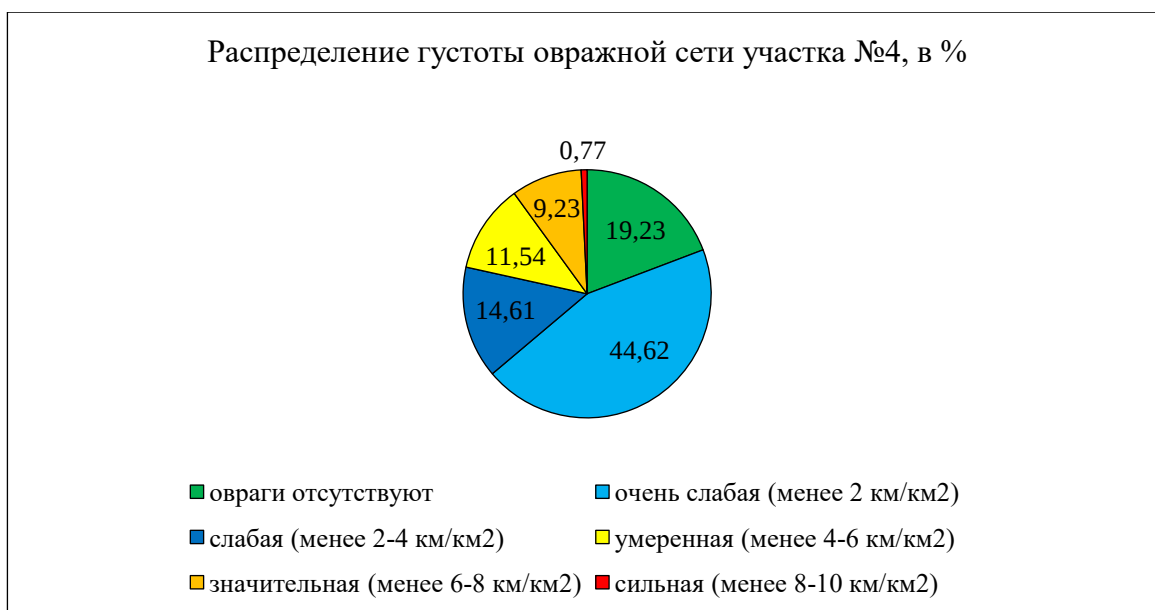


Рисунок 4.19 – Распределение густоты овражной сети участка №4, в %

Плотность оврагов. Следующим важным показателем пораженности овражной эрозией территории западной части Жетысу Алатау является плотность оврагов. Плотность оврагов – это их количество вершин на единицу площади (ед. км²). Карты плотности оврагов дают возможность определять число оврагов на той или иной территории и делать анализ о развитии овражной эрозии, так как вершину каждого оврага можно рассматривать как точку дальнейшего роста.

Нами на картах по плотности развития оврагов выделены 6 категорий:

- овраги отсутствуют;
- слабозаовраженные (1-10 ед/км²);
- заовраженные (10-20 ед/км²);
- среднезаовраженные (20-30 ед/км²);
- сильнозаовраженные (30-40 ед/км²);
- очень сильнозаовраженные (более 40 ед/км²);

Для определения степени заовраженности на исследуемом участке №1 нами была составлена карта густоты овражной сети в масштабе 1:150000 (рисунок 4.20).

На этом участке встречаются все 6 градации плотности оврагов:

- овраги отсутствуют на 323 км² или 41,25% от общей территории участка;
- слабозаовраженные (0-10 ед/км²) распространены на 283 км² или 36,15% от общей территории участка;
- заовраженные (10-20 ед/км²) распространены на 113 км² или 14,43% от общей территории участка;
- среднезаовраженные (20-30 ед/км²) распространены на 38 км² или 4,85% от общей территории участка;

- сильнозаовраженные (30-40 ед/км²) распространены на 16 км² или 2,04% от общей территории участка;
- очень сильно заовраженные (более 40 ед/км²) распространены на 10 км² или 1,28% от общей территории участка.

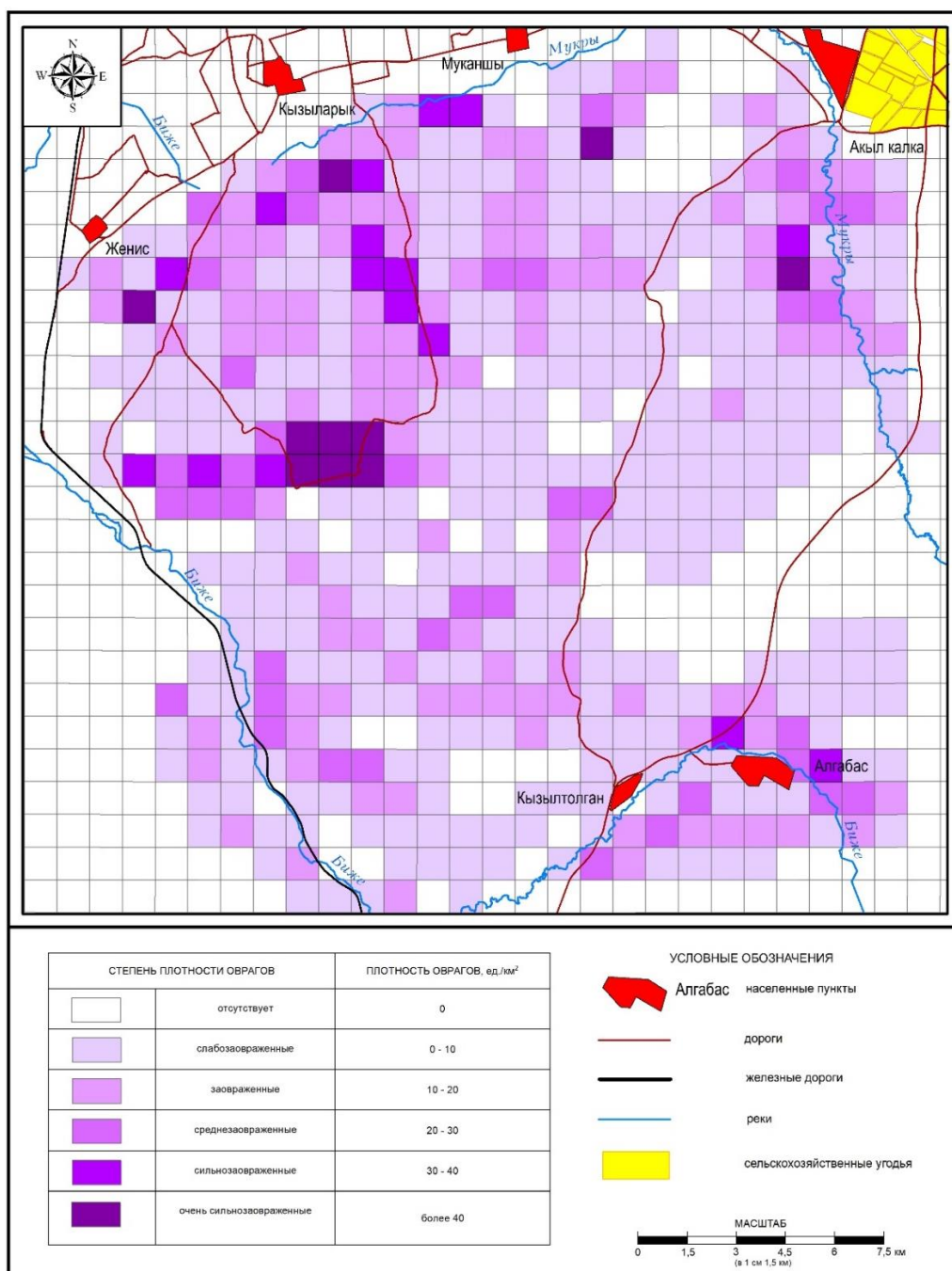


Рисунок 4.20 – Плотность оврагов участка №1, ед/км²

На участке №2 плотность оврагов менее интенсивна, чем на участке №1. Для участка №2 нами составлена карта плотности оврагов в масштабе 1:250000 (рисунок 4.21).

На этом участке встречаются все 5 градации плотности оврагов, кроме очень сильно заовраженные:

- овраги отсутствуют на 1702 км² или 80,59% от общей территории участка;
- слабозаовраженные (0-10 ед/км²) распространены на 340 км² или 16,10% от общей территории участка;
- заовраженные (10-20 ед/км²) распространены на 56 км² или 2,65% от общей территории участка;
- среднезаовраженные (20-30 ед/км²) распространены на 10 км² или 0,47% от общей территории участка;
- сильнозаовраженные (30-40 ед/км²) распространены на 4 км² или 0,19% от общей территории участка;

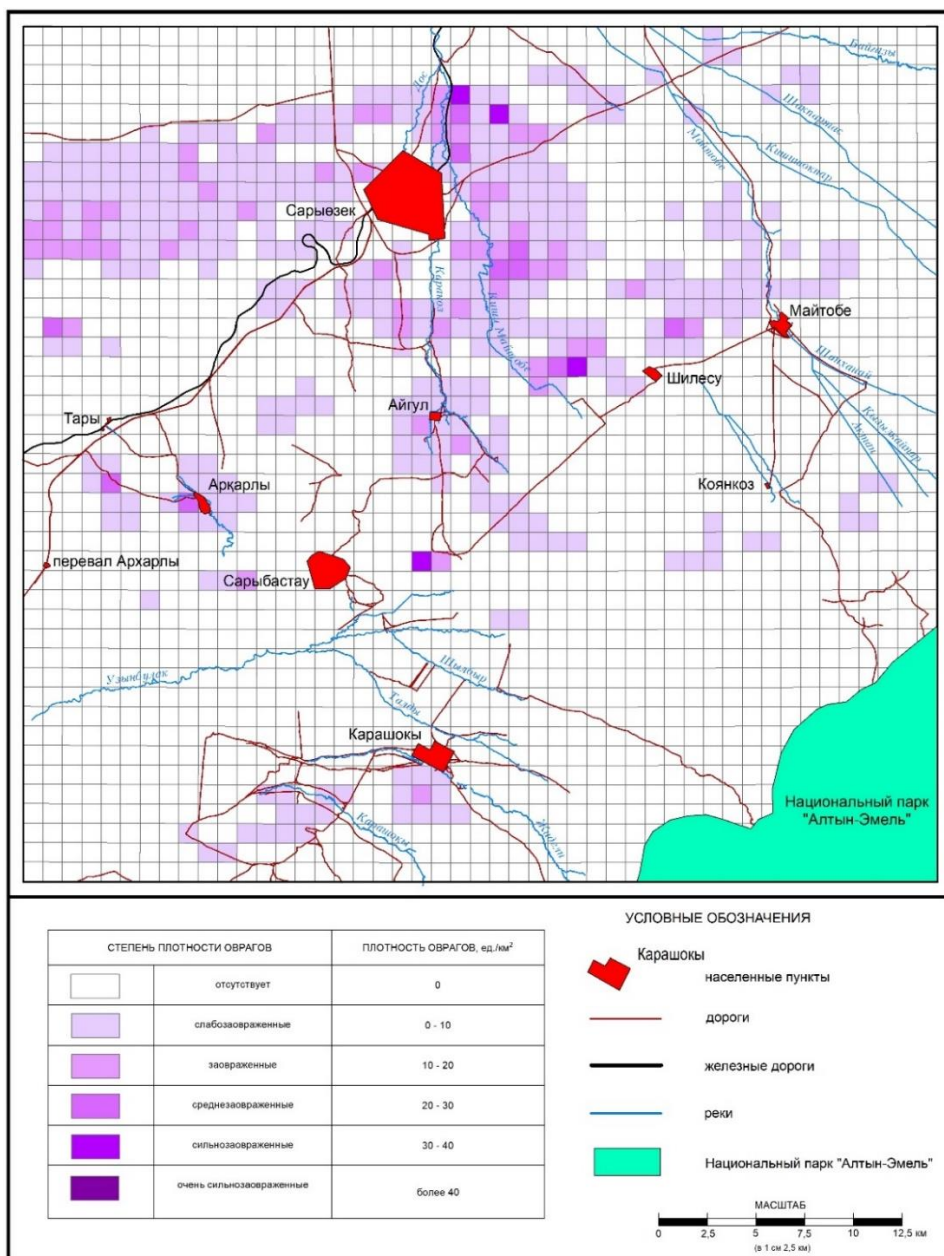


Рисунок 4.21 – Плотность оврагов участка №2, ед/км²

На участке №3 овражная эрозия слабо развита и соответственно плотность оврагов менее выражена. Для участка №3 нами составлена карта плотности оврагов в масштабе 1:350000 (Приложение X.1).

На этом участке встречаются 5 градации плотности оврагов, кроме очень сильно заовраженных:

- овраги отсутствуют на 2975 км² или 97,08% от общей территории участка;
- слабозаовраженные (0-10 ед/км²) распространены на 70 км² или 2,35% от общей территории участка;
- заовраженные (10-20 ед/км²) распространены на 13 км² или 0,44% от общей территории участка;
- среднезаовраженные (20-30 ед/км²) распространены на 3 км² или 0,1% от общей территории участка;
- сильнозаовраженные (30-40 ед/км²) распространены на 1 км² или 0,03% от общей территории участка.

По результатам проведенных исследований на участке №4 наблюдается сильное формирование оврагов и соответственно плотность оврагов хорошо выражена на карте плотности оврагов. Для участка №4 нами составлена карта плотности оврагов в масштабе 1:75000 (Приложение X.2).

На этом участке встречаются все 6 градации плотности оврагов:

- овраги отсутствуют на 35 км² или 27,7% от общей территории участка;
- слабозаовраженные (0-10 ед/км²) распространены на 61 км² или 46,92% от общей территории участка;
- заовраженные (10-20 ед/км²) распространены на 15 км² или 11,54% от общей территории участка;
- среднезаовраженные (20-30 ед/км²) распространены на 9 км² или 6,92% от общей территории участка;
- сильнозаовраженные (30-40 ед/км²) распространены на 3 км² или 2,31% от общей территории участка;
- очень сильно заовраженные (более 40 ед/км²) распространены на 6 км² или 4,61% от общей территории участка.

Составленные карты густоты овражной сети и плотности оврагов западной части Жетысу Алатау характеризуют фактическую величину овражного расчленения, дают степень современной подверженности земель деградации, выявляют активность и динамику процессов овражной эрозии, помогают получать достоверные прогнозные данные, а также показывают очаги распространения овражной сети на территории. Согласно анализу динамики оврагов, на основе составленных карт по густоте овражной сети и плотности оврагов, а также в связи с усилением антропогенной нагрузки, есть опасность дальнейшего распространения овражной эрозии территории западного Жетысу Алатау. Значительная расчлененность и особенности литологических свойств горных пород западной части Жетысу Алатау способствуют развитию овражной эрозии и требует применения противоэрозионных мероприятий.

4.4 Площадное распространение овражной сети на исследуемых участках Жетысу Алатау

Площадное распространение овражной сети имеет неблагоприятные последствия для земельных ресурсов, включая потерю полезных

сельскохозяйственных территорий, ухудшение качества почвенного покрова, состояния водных ресурсов и уменьшение продуктивности сельского хозяйства. Для оценки ущерба от развития овражной эрозии сельскохозяйственных земель наиболее удобным и представительным параметром является их выявление площади по контуру бровки оврагов. Нами на всех 4-х исследуемых участках по бровкам оврагов произведено картирование и выявлена занимаемая площадь оврагами. Полученные результаты отражают непосредственные данные о потери полезных земель в сельском хозяйстве. Приведенные данные таблицы 4.4 показывают о площадном распространении оврагов и расчеты процента потерь площади развития современной овражной сети на исследуемых участках.

Таблица 4.4 – Площадь овражной сети на исследуемых участках

	Общая площадь исследуемого участка, км ²	Занимаемая оврагами площадь,	
		км ²	%
Участок №1	773,30	83,13	10,75
Участок №2	1500,87	51,93	3,46
Участок №3	2005,88	10,23	0,51
Участок №4	125,98	8,97	7,12

Согласно полученным результатам по изучению овражной эрозии западной части Жетысу Алатау наибольшее площадное распространение оврагов наблюдается на участке №1. При первоначальном изучении и выборе участков исследования овражной эрозии рассматриваемый участок по данным космических снимков отличался сильной заовраженностью. На участке №1 оврагами занято 83,13 км² из 773,30 км², т.е. 10,75% от общей площади данного участка. Такие показатели являются довольно высокими и доказывают высокую подверженность территории овражной эрозии согласно данным ранее выполненных карт густоты овражной сети и плотности оврагов исследуемых участков. На этом участке овраги имеют антропогенное и естественное происхождение. Некоторые естественные овраги активизировались из-за неправильного использования склонов при орошении полей и дренажных механизмов дорожной сети. Наибольшее площадное распространение оврагов на участке №1 связано с тем, что на этой территории встречаются все основные факторы для развития овражной эрозии такие как – подверженный смыву литологический состав поверхностных пород, сложная морфометрия местности и комплекс антропогенных факторов. Конкретно антропогенными факторами на участке №1 являются большие площади распаханых сельскохозяйственных полей, вырубка лесов и тугаев в долинах местных рек, деградированный почвенно-растительный покров, сеть автомобильных дорог и строительство различных объектов инфраструктуры. В свою очередь инфраструктурные и дорожные сети нарушают естественный водный баланс площадей водосборов (склонов) оврагов и временных водотоков. Очагами овражной эрозии являются пашни, долины рек, территории вдоль автодорог, склоны дорожных насыпей, и трассы трубопроводов. Все эти факторы способствуют развитию овражной

эрозии на этом участке.

На участке №2 площадь овражной сети занимает 3,46% от общей площади участка. Этот показатель считается относительно высоким. На рассматриваемом участке также литологические свойства грунтов более подвержены к смыву, а крутизна склонов довольно высока для развития водной эрозии. На участке овраги образуются как в естественном ландшафте, так и под воздействием хозяйственной деятельности. В естественных условиях наличие растительности предохраняет почву от размыва благодаря дернине и соответственно развитие овражной эрозии замедляется. В случае воздействия деятельности человека на естественные ландшафты, развитие овражной эрозии ускоряется, возникают благоприятные факторы такие как – оголенные поверхности склонов из-за сведения растительности при распашке, прокладка коммуникаций, дорог и других объектов. Например, на втором участке распаханное поле занимает более 20% площади. Также овраги встречаются в селитебных зонах (с. Сарыозек, с. Шилису, с. Сарыбастау), которые создают неудобства в хозяйственной жизнедеятельности сел.

Среди исследуемых участков наименьшее площадное распространение овражной сети по отношению к общей площади участка наблюдается на участке №3. Данный участок самый большой по площади – 2005,88 км², где 0,51% от всей площади занимают овраги. Такой низкий показатель распространения оврагов объясняется природными факторами. Территория имеет почти ровную поверхность, низкую крутизну склонов, невысокие перепады высот (до 250-300 м) и более устойчивые породы к размывам. Помимо этого, на участке практически отсутствуют крупные балки и долины рек, где на их склонах может развиваться линейная эрозия. К антропогенным факторам относятся меньшее число населенных пунктов и низкая густота линейной инфраструктуры на общую площадь участка. Все эти перечисленные факторы сдерживают развитие овражной эрозии.

Участок №4 изначально был выбран с территорией наименьшего ведения хозяйственной деятельности, чтобы изучить развитие овражной эрозии в наиболее естественных природных условиях. На участке отсутствуют населенные пункты, густая дорожная сеть и объекты инфраструктуры. По участку проходит одна автомобильная дорога с твердым покрытием и несколько полевых дорог. Однако, на этом участке природные факторы в значительной степени способствуют формированию оврагов. Полученные результаты исследования распространения овражной сети западной части Жетысу Алатау на данном участке показали 7,12% от площади участка №4. Такие показатели являются высокими и в первую очередь объясняются сложными морфологическими и морфометрическими условиями территории.

Таким образом, распространение оврагов по площади представляет собой динамический процесс, находящийся под влиянием множества природных и антропогенных факторов. Поскольку овраги постепенно охватывают большие территории, они создают серьезные проблемы в развитии земельных ресурсов, селитебных территорий и экосистем. Эффективные стратегии смягчения последствий и управления необходимы для сдерживания их расширения и

продвижения практики устойчивого землепользования. Всесторонне понимая механизмы, лежащие в основе площадного расширения оврагов, мы сможем лучше защитить наши ландшафты и способствовать ответственному управлению окружающей средой.

Одним из основных итогов исследования стали количественные показатели, площадная и линейная динамика оврагов и созданные на их основе карты густоты и плотности овражного расчленения территории западной части Жетысу Алатау. Составленные карты густоты овражной сети и плотности оврагов западной части Жетысу Алатау являются новыми и оригинальными. На картах отражена не только региональная сводка данных по овражной эрозии, но и новый подход к картированию оврагов в горных странах. Кроме того, карты имеют практическое значение для специалистов сельского хозяйства и проектировщиков.

Выводы по 4 разделу:

Для прогнозирования и борьбы с овражной эрозией в западной части Жетысу Алатау необходимо иметь четкую картину современной овражности исследуемых территорий и тенденций ее развития, так как это позволяет оценить реальное ее состояние и определить направленность процесса. Морфометрические характеристики оврагов, оценка масштаба и интенсивность овражной эрозии в западной части Жетысу Алатау были получены с применением следующих методов – полевых, ДЗЗ и НЛС.

В западной части Жетысу Алатау длина оврагов меняется от десятков метров до нескольких километров, ширина от нескольких метров до десятков метров, глубина обычно варьируется также от несколько метров до десятков метров. Большинству оврагов по поперечному сечению характерна V-образная форма. Овраги и овражно-саевые системы западной части Жетысу Алатау в плановом обзоре имеют извилистый или ветвящийся, часто древовидный вид. При изучении морфометрии оврагов западной части Жетысу Алатау были рассмотрены 1896 оврагов. Длина оврагов измеряется от 10 метров для отдельных оврагов и до 12430 м для отдельных овражно-саевых систем. Длина большинства оврагов (1271 единиц) достигает до 910 м, из них 545 единиц оврагов до 460 м. Овраги и овражно-саевые системы по центральному тальвегу длиной до 1810 м составляют 76,8%. Ширина оврагов и овражно-саевых систем по центральной части у 469 единиц варьируется от 1,5 м до 10,4 м, у 246 единиц – от 10,5 м до 19,3 м, у 386 единиц – от 19,4 м до 28,2 м и 291 единиц – от 28,3 м до 37,1 м. Согласно полученным количественным данным, 73,5% (1392 единиц) оврагов имеют ширину 1,5-37,1 метров. Остальные 26,5% (501 единицы) оврагов имеют ширину от 37,2 до 432 метров. На исследуемой территории получилось определить глубины 1794 единиц оврагов и овражно-саевых систем. Глубина большинства оврагов в западной части Жетысу Алатау варьируются от 1,5 м до 41,8 м (94,8 % или 1700 единиц), в зависимости от глубины местного базиса эрозии. Выявлены крутизна склонов 646 единиц оврагов и овражно-саевых систем по центральным тальвегам. Обычно эрозионные процессы на склонах

развиваются на поверхностях с уклоном более $1-2^\circ$, когда действие силы гравитации оказывается более ощутимым. Крутизна большинства оврагов в западной части Жетысу Алатау варьируется от 0,06 до 7,06 градусов (92,7 % или 599 единиц), в зависимости от естественной крутизны склона. Остальная небольшая часть оврагов имеют крутизну больше 7,06 градусов. Результатами выполненных работ являются количественные морфометрические данные оврагов западной части Жетысу Алатау. Более детальные морфометрические характеристики оврагов отражены в описаниях 4-х ключевых участков.

Одним из основных показателей овражной эрозии служит динамика овражной эрозии. В данном разделе рассмотрена динамика развития оврагов по отдельным годам (с 2003 по 2022 гг.) на 4-х мониторинговых участках. На мониторинговом участке №1 среднегодовой смытый объем грунта вершинной части оврагов составляет $13,81 \text{ м}^3$, среднегодовой линейный рост – $1,43 \text{ м/год}$, а среднее площадное развитие – $95,05 \text{ м}^2/\text{год}$. На этом участке при обработке данных НЛС смытый объем грунта отдельного оврага составил $389,37 \text{ м}^3$. На ключевом участке №2 среднегодовой смытый объем грунта вершин оврагов – $0,25 \text{ м}^3$, среднегодовой линейный рост – $0,88 \text{ м/год}$, среднее площадное развитие – $30,33 \text{ м}^2/\text{год}$. На участке №3 среднегодовой смытый объем грунта вершин оврагов – $7,85 \text{ м}^3$, среднегодовой линейный рост – $2,09 \text{ м/год}$, и среднее площадное развитие составило – $116,37 \text{ м}^2/\text{год}$. На участке №3 при обработке данных НЛС смытый объем грунта отдельного оврага составил $19,54 \text{ м}^3$. На мониторинговом участке №4 среднегодовой смытый объем грунта вершин оврагов – $2,8 \text{ м}^3$, среднегодовой линейный рост – $1,06 \text{ м/год}$, а среднее площадное развитие – $38,51 \text{ м}^2/\text{год}$. Метод НЛС определил объем смытого грунта оврага $132,02 \text{ м}^3$. По проведенным анализам линейного роста оврагов в западной части Жетысу Алатау на мониторинговых участках по результатам полевых работ за период 2013-2017 гг. показал рост оврагов от 0,1 до $3,5 \text{ м/год}$, при среднем значении – $0,77 \text{ м/год}$. Данные по смытому объему грунтов вершин оврагов за указанный период составляет от 0,01 до $68 \text{ м}^3/\text{год}$ со средним показателем – $9,36 \text{ м}^3/\text{год}$. Необходимо отметить, что смыв грунтов происходит с множества отвершков, бровок, откосов и по днищу оврага. По наблюдениям темпа роста оврагов западной части Жетысу Алатау с использованием космических снимков среднегодовой рост вершин оврагов составил $1,38 \text{ м/год}$, среднее значение площадного развития оврагов составляет $73,34 \text{ м}^2/\text{год}$. При использовании метода НЛС объем смытого грунта отдельных оврагов составил в среднем $180,31 \text{ м}^3$. Все морфометрические показатели и данные по динамике оврагов отражены в виде таблиц и графиков в данном разделе диссертации. По полученным результатам сделаны корректировки данных и составлены карты-схемы оврагов по линейному и площадному развитию.

Для оценки пораженности овражной эрозией территории западной части Жетысу Алатау были составлены карты густоты овражной сети и плотности оврагов. Эти карты свидетельствуют о неодинаковой интенсивности овражной эрозии на различных участках в западной части Жетысу Алатау. Полученные карты густоты овражной сети и плотности оврагов западной части Жетысу Алатау характеризуют фактическую величину овражного расчленения, дают

степень современной подверженности земель деградации, выявляют активность и динамику процессов овражной эрозии, помогают получать достоверные прогнозные данные, а также показывают очаги распространения овражной сети на территории. В процессе исследования выявлены следующие результаты площадного распространения овражной сети от общей площади исследуемых участков: участок №1 – 10,75%, участок №2 – 3,46%, участок №3 – 0,51%, участок №4 – 7,12%.

В рассматриваемом разделе оценка пораженности овражной эрозией показывает высокую опасность дальнейшего распространения овражной эрозии в западном Жетысу Алатау, которая требует применения противоэрозионных мероприятий. Основными итогами исследования стали количественные морфометрические показатели, площадная и линейная динамика оврагов и созданные на их основе карты густоты и плотности овражного расчленения территории западной части Жетысу Алатау. Составленные карты густоты овражной сети и плотности оврагов западной части Жетысу Алатау являются новыми и оригинальными. На картах отражена не только региональная сводка данных по овражной эрозии, но и новый подход к картированию оврагов в горных странах. Кроме того, карты имеют практическое значение для специалистов сельского хозяйства и проектировщиков. Оценка развития овражной эрозии позволяет оптимизировать решение задач по хозяйственному освоению территорий, выбрать оптимальный вариант использования земель, обосновать комплекс противоэрозионных мероприятий и их рациональное размещение в западном Жетысу Алатау.

5 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УПРАВЛЕНИЮ ОВРАЖНЫМИ ПРОЦЕССАМИ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЖЕТЫСУ АЛАТАУ

5.1 Рекомендации по управлению овражными процессами западной части Жетысу Алатау

Овражная эрозия – сложный рельефообразующий процесс, находящийся под влиянием различных природных и антропогенных факторов, представляющий собой широко распространенную экологическую проблему. Её пагубное воздействие на плодородие почвы, состояние ландшафтов, качество водных ресурсов и устойчивое развитие экосистем требует принятия превентивных мер по сдерживанию её прогрессирования. Поскольку мир сталкивается с растущими проблемами, связанными с изменением климата и нерациональными методами использования земельных ресурсов, необходимость в эффективных мерах по предотвращению и уменьшению овражной эрозии становится более важной, чем когда-либо.

Понимание коренных причин овражной эрозии имеет важное значение для разработки целевых мер. Распространенные типичные факторы включают неправильное землепользование, вырубку лесов, нерациональные методы ведения сельского хозяйства и изменчивость климата. Устранение этих основных причин имеет решающее значение для успешного контроля эрозии. Данные полученные в ходе настоящего научного исследования – динамика овражной эрозии, карты густоты овражной сети, карты плотности оврагов и площадного распространения овражной сети показывают, что основные противоэрозионные мероприятия в пределах западной части Жетысу Алатау должны быть направлены не только на борьбу с существующими овражными формированиями, но и ещё на предупреждение процесса распространения овражной эрозии. Все рассмотренные овражные формы западной части Жетысу Алатау представляют собой опасность для сельскохозяйственных земель и на некоторых участках для селитебных территорий. Кроме того, развитие оврагов усугубляется в последние годы активизацией линейным ростом и площадным распространением.

При выборе методов борьбы с овражной эрозией освоенных заовраженных земель необходимо учитывать климатические, литологические, геоморфологические и антропогенные факторы региона. Противоэрозионные мероприятия могут быть максимально эффективными только при учете комплексов природно-хозяйственных факторов. Однако, из множества известных противоэрозионных методов в каждом случае необходимо выбрать то или иное ограниченное количество приемов. Эффективность методов будет зависеть от того, насколько правильным окажется выбор, какой состав мероприятий будет соответствовать природным условиям и хозяйственному использованию территории. Использование одних и тех же приемов в различных природно-хозяйственных условиях может не дать должного эффекта, либо даст отрицательный результат. Применение и действенность отдельных методов борьбы с овражной эрозией должно рассматриваться в общем почвозащитном

комплексе. Различные методы противоэрозионных мероприятий зависят от интенсивности развития оврагов, стадии их развития, густоты и плотности овражной сети, задернованности склонов и дна оврагов, а также от других морфометрических характеристик самих оврагов. Именно в зависимости от характеристик оврагов для каждого из них применяются отдельные противоовражные методы или комплекс мер.

Применение противоовражных мероприятий значительно снизило опасность овражной эрозии во многих странах [186-190]. В отдельных районах заовраженные территории подвергались коренной мелиорации и используются для выращивания ценных агрокультур. В исследованиях применение противоовражного мероприятия – созданные приовражные полосы из растительности и других конструкций показывает, что без учета рельефа местности не дают нужного мелиоративного и противоэрозионного эффекта.

В западной части Жетысу Алатау выбор того или иного противоовражного метода основывается на разных характеристиках оврагов исследуемых 4 ключевых участков. При выборе противоовражных мер учитывались морфометрические характеристики оврагов, динамика овражной эрозии, густота овражной сети, плотность оврагов и площадное распространение овражной сети. Далее в процессе данного исследования были выбраны и описаны наиболее адаптивные противоовражные методы для каждого ключевого участка, как наиболее подходящий по физико-географическим условиям западной части Жетысу Алатау.

Ключевой участок №1 занимает территории между рек Биже и Мукры, также прилегающих гор Кызылауыз, Сарыбастау, Жуантобе. По геоморфологическому строению территория участка состоит из аккумулятивных и денудационных равнин, тектонико-эрозионных холмов (адыров), денудационных и денудационно-тектонических гор и низкогорья. Относительные высоты на равнинах от 10-20 м и больше, в адырах 50-100 м, в горах 200-500 м и больше. На ключевом участке овражная сеть занимает 10,75% от площади участка и такие величины являются максимальными для западной части Жетысу Алатау. На участке №1 в ходе исследования зафиксированы максимальная динамика линейного роста и площадного распространения оврагов относительно к другим ключевым участкам. Это объясняется обусловленными синергирующими антропогенными и природными факторами участка.

Горы, низкогорья и равнины аридных зон особенно уязвимы для овражной эрозии из-за скудности растительности, высокой скорости испарения и ограниченности водных ресурсов. Методы по сдерживанию овражной эрозии на этом участке можно разделить на следующие виды:

- фитомелиоративные меры;
- методы сохранения почвенного покрова;
- использование инженерных сооружений;
- комплексные мероприятия.

Фитомелиоративные меры. Одним из фундаментальных подходов борьбы с овражной эрозией в засушливых районах является восстановление и

управление растительным покровом, использование фитомелиоративных мер. Выбор видов растений для борьбы с оврагами основан на их способности снижать эрозию и улавливать наносы. Для использования растений против овражной эрозии необходимо рассматривать морфологические характеристики растений. К основным характеристикам надземной части растений относятся – диаметр, плотность, жесткость и ветвление стебля, удельная площадь и плотность листа. Характеристиками подземной части растений является – плотность корней, тип корневой системы, глубина укоренения, закреплённость в грунте. Также при выборе растений необходимо учитывать такие свойства, как засухоустойчивость, выживаемость и размножение на склонах и дне оврагов, скорость размножения и приживаемость.

В улучшении плодородных свойств почвы, уменьшении поверхностного стока и предотвращения эрозии необходимо применение местных видов растительности. Эти растения не нуждаются в адаптации и играют решающую роль при восстановлении почвенно-растительного покрова. Многие исследования [191-194] продемонстрировали эффективность в применении местных видов растений в засушливых регионах, поскольку они адаптированы к местным климатическим условиям и лучше приживаются при минимальных потребностях в воде. Кроме того, помимо посадки самих растений вокруг оврагов можно создавать барьеры из растительных остатков на вершинах и днищах оврагов. Растительные барьеры представляют собой узкие полосы растений или растительных остатков. Выбор растений или остатков зависит от их пригодности и местоположения. Определяющими свойствами используемых растений являются их эффективность при использовании, плотность и другие морфологические особенности. Вершины оврагов, не большие овраги и промоины можно заполнять растительными остатками (стебли, листья кустарников, ветви деревьев, стволы, крупные щепки, связки хвороста, тюки соломы). Принцип работы заключается в том, что они сразу же эффективно защищают от эрозии, но имеют короткий срок службы по сравнению с барьерами из живой растительности. При установке барьеров из растительных остатков нужно устанавливать так, чтобы не мешать сельскохозяйственной деятельности. Преимущество барьеров из растительных остатков заключается в том, что их плотная структура делает их эффективным средством защиты от эрозии и легким в применении. Доступность и низкая стоимость этого метода делают его привлекательным в борьбе с оврагами западной части Жетысу Алатау.

Методы сохранения почвенного покрова. Внедрение методов сохранения почвенного покрова имеет важное значение для борьбы с овражной эрозией. Например, такие методы как контурная вспашка, террасирование и покровные культуры, могут значительно сократить сток воды и потерю почв. Контурные насыпи имеют положительное влияние по предотвращению образования оврагов за счет замедления потока воды и содействия инфильтрации. Террасирование предполагает со рекомендательных мероприятий здание ступенчатых структур на наклонном рельефе для уменьшения скорости стока воды, обеспечения лучшего поглощения и минимизации эрозии почвенного слоя. Многочисленные исследования подчеркивают эффективность террасирования в борьбе с

овражной эрозией за счет содействия инфильтрации воды и предотвращения концентрации стока. Наблюдается снижение эрозии почвы на 30-40% на террасированных склонах по сравнению с не террасированными участками [195-199]. Несмотря на истории успеха и эффективность при использовании террасирования существуют такие проблемы, как высокая стоимость и техническое обслуживание. Меры по террасированию доказали свою эффективность в борьбе с овражной эрозией, предлагая устойчивое и адаптируемое решение этой экологической проблемы.

Покровные культуры известны своей способностью защищать почву от эрозии, обеспечивая сохранения почвенного покрова стабилизируя структуру почвы [200-202]. Плотная корневая система покровных культур улучшает агрегатные свойства почвы, снижая риск поверхностного стока и эрозии. Кроме того, надземная биомасса покровных культур действует как физический барьер, защищая почву от воздействия дождевых капель и сводя к минимуму отслоение почвы. Долгосрочное применение покровных культур увеличивает образование почвенного слоя и скорость инфильтрации, позволяя воде более эффективно проникать в почву. Такое улучшенное удержание воды уменьшает поверхностный сток, сводя к минимуму эрозионные силы, предотвращая образование оврагов.

Использование инженерных сооружений. В комплексе с фитомелиоративными методами борьбы с оврагами применяются разного рода инженерные сооружения и решения. Это особенно актуально, когда высаженные для защиты растения у вершин оврагов еще полностью не окрепшие, не выполняют в полной мере противоэрозионную роль. Противоовражные инженерные сооружения уменьшают или полностью прекращают рост оврагов, выравнивая морфометрию полей, отводят воду с водосборных площадей и подводят к водосборным сооружениям уменьшая избыток энергии потока воды. Разные исследования отмечают успешное внедрение инженерных сооружений для предотвращения образования оврагов, подчеркивая их адаптируемость к различным физико-географическим условиям [12, 203-207]. Для борьбы с оврагами в западной части Жетысу Алатау наиболее подходят следующие инженерные сооружения – распылители стока, водозадерживающие валы, водоотводящие валы, габионные конструкции, контрольные дамбы, лотки-быстротоки, бетонные и каменные перепады, донные сооружения. Хотя инженерные сооружения предлагают практические решения проблемы овражной эрозии, важно учитывать их потенциальное воздействие на окружающую среду. Баланс между преимуществами борьбы с эрозией и экологической устойчивостью требует тщательного планирования и соблюдения передового опыта. Противоовражные инженерные сооружения также как террасирование оврагов имеют высокую стоимость и применим на важных угрожающих участках. Борьба с овражной эрозией с помощью инженерных сооружений является жизнеспособным и необходимым подходом для обеспечения устойчивого землепользования и охраны окружающей среды.

Комплексные мероприятия. Первые попытки борьбы с овражной эрозией включали применение традиционных мер, таких как создание полос из растений,

контурная вспашка и возведение защитных инженерных сооружений. Традиционные, одномерные подходы часто не обеспечивают долгосрочных решений по борьбе с оврагами. Хотя эти методы в некоторой степени эффективны, им часто не хватает комплексного подхода, необходимого для решения проблемы динамичного и многогранного характера развития овражной эрозии. В последнее время с развитием биоинженерии и новых технологий в развитых странах по борьбе с оврагами начали применять комплексные мероприятия [186, 206]. Суть применения комплексных методов заключается в использовании нескольких мер одновременно для замедления или полной остановки развития овражной эрозии. К методам комплексных мероприятий можно отнести комбинированное применение почвенной биоинженерии и геосинтетики, совместное применение геосинтетики и инженерных конструкций.

Комплексный метод почвенной биоинженерии и геосинтетики заключается в использовании растительности, инертных материалов на основе растительных веществ, биотекстиля и их совместное применение с каменными материалами, бетоном или металлическими конструкциями. Этот современный метод составляет экологически чистые материалы для борьбы с оврагами и смягчения от их последствий. Эти материалы удобны в применении на вершинах, склонах и днищах оврагов в различных физико-географических условиях. Преимуществом почвенной биоинженерии в отличие от других технологий является её возобновляемость, эстетичность в сочетании с естественным ландшафтом и экономичность. Например, применение сетки из кокосового волокна служит временным стабилизирующим звеном. В сочетании с растительностью она обеспечивает быстродействующую защиту от эрозии, позволяя растениям прижиться. Сетка из кокосового волокна постепенно разлагается, оставляя после себя устойчивую поверхность, поросшую растительностью [208-210]. Сочетание растительного покрова и сетки из кокосового волокна обеспечивает устойчивый защитный слой, улучшает плодородие и удерживает влагу в почве. Эти меры предотвращают эрозию почвы на разных стадиях и способствуют закреплению растительного покрова на долгий срок. Использование мер почвенной биоинженерии дает возможность устойчивого контроля над овражной эрозией. Необходимы дальнейшие исследования для применения и адаптации метода почвенной биоинженерии к природным условиям западной части Жетысу Алатау.

Традиционные методы борьбы с овражной эрозией часто не дают должных результатов, что требует применение инновационных подходов. К инновационным методам можно отнести комплексное применение геосинтетики и инженерных конструкций. К геосинтетическим материалам относятся геотекстиль и георешетки. Геотекстиль – это водопроницаемые ткани, предназначенные для стабилизации поверхности почвы, они считаются действенным материалом в предотвращении эрозии почвы [211-213]. Установка материалов из геотекстиля по склонам и вершинам оврагов действует как барьер для снижения потока воды, способствуя удержанию почвы. Несмотря на то, что геотекстиль больше производится из синтетических материалов, геотекстиль

изготовленный из органических материалов (растительности) в меньшей мере более экологичен при применении в борьбе с эрозией [214, 215]. Применение геотекстиля из натуральных материалов более эффективно, так как имеет 100% биоразлагаемости и лучшее сцепление с грунтом.

В последнее время в селитебных зонах Казахстана все чаще наблюдается укрепление опасных участков берегов рек с применением рулонной георешетки и геоматов. Эти же материалы можно применять на активных участках развития оврагов. Георешетки и геоматы – высокопрочные полимерные сетки, которые необходимо использовать для укрепления грунта на бровках и склонах оврагов западной части Жетысу Алатау. Эти материалы повышают фиксацию, уменьшают смещение грунта, увеличивают структурную целостность склонов и, таким образом, обеспечивают рост растительности.

К комбинированному подходу по борьбе с оврагами можно отнести применение геосинтетики и инженерных конструкций. Например, из габионов можно создать инженерную конструкцию в виде поддерживающей стены. Для этого габионы заполняют камнями и создают барьерную стену против образования оврагов. Габионные поддерживающие стены поглощают и рассеивают энергию воды, уменьшая эрозию почвы, повышая устойчивость склонов. Эти инженерные конструкции можно адаптировать к конкретной форме оврага и эстетичному виду рельефа. В борьбе с оврагами в зависимости от условия местности и степени развития овражной эрозии можно совместно использовать фитомелиоративные методы с геотекстилем, георешетками, геосеткой, геоматами, габионными стенами и другими инженерными конструкциями. В противоовражных мероприятиях одновременное применение комплексных мер дает большие результаты, чем отдельные меры.

Для выбора противоовражных мер необходимо учитывать геоморфологические особенности участков. В геоморфологическом строении участка № 2 участвуют денудационные и аккумулятивные наклонные равнины, денудационно-тектонические горы и низкогорья, тектонические-эрозионные холмы типа адыров. Эти территории охватывают восточную часть хребта Малайсары, предгорья горы Шолак, междуречье рек Майтобе и Киши Майтобе, долины рек Каскабулак и Каракаска. Участку свойственно распространение эрозионного расчленения. В площадном развитии овражная эрозия охватывает 3,46% территории участка и этот показатель считает средним для территории исследования. На этом участке развития овражной эрозии характерным является распространение оврагов на селитебных территориях. Овражные системы, как один из динамично развивающихся элементов рельефной среды, играют значительную роль в жизни населенных пунктов западной части Жетысу Алатау (например: с. Сарыозек, с. Шилису, с. Сарыбастау). В зависимости от развития овражной эрозии, размеров населенных пунктов и его жизнедеятельности на селитебных территориях происходит корреляционные видоизменения. Развитие овражной эрозии и функционирование населенных пунктов между собой взаимосвязаны и взаимообусловлены. В этом контексте актуальность проявления овражной эрозии рассматривается как один из важных элементов геоэкологических условий селитебных территорий. Наиболее рациональный и

экологичный вариант использования участков занятыми оврагами в условиях селитебных территорий – это создание ландшафтно-рекреационных зон отдыха, террасирования склонов для выращивания культур для населенных пунктов, создание контурных лесных полос из местных видов деревьев и установка современных габионных стен для замедления потоков воды.

В горах, где повсеместно встречаются крутые склоны, проведение противоовражных мероприятий – трудоемкая и финансово затратная задача. По этой причине в предгорных и горных районах западной части Жетысу Алатау наиболее приемлемыми являются следующие противоовражные подходы:

- сохранение и восстановление естественной растительности;
- террасирование и создание ряда ступенек на наиболее крутых склонах с созданием агролесоландшафтов;
- выполаживание крутых откосов оврагов;
- на актуальных участках близ населенных пунктов – укрепление откосов и вершин оврагов бетонными и железобетонными сооружениями, бутовым камнем;
- применение интегрированных подходов (восстановление растительного покрова, террасирование, установка инженерных сооружений и соблюдение стратегии управления водной эрозией).

Меры по снижению развития овражной эрозии в предгорьях и горах требуют многомерного и комплексного подхода. Устранив коренные причины и применив комплекс превентивных мер, мы можем защитить эти экологически чувствительные районы Жетысу Алатау от пагубного воздействия овражной эрозии.

На ключевом участке №3 в геоморфологическом строении участвуют денудационные холмы и равнины, аккумулятивные равнины, аккумулятивная эоловая бугристо-ячеистая равнина и долины рек Иле, Кербулак, Шенгельды. Территория имеет почти ровную поверхность, относительные высоты до 100 м., низкую крутизну склонов. На исследуемом участке овраги занимают 0,51% от площади участка и по полученным данным наблюдается наименьшее развитие овражной эрозии. Среди рассмотренных нами противоовражных методов наиболее подходящим для данного участка является частичная или полная засыпка оврагов в зависимости от морфометрических размеров. На местах развития рытвин, промоин и небольших оврагов применим метод выполаживания. На участках, где распространены лессы – частичная засыпка оврагов, сочетаемая с агромелиоративными мероприятиями. Для засыпки небольших оврагов подходят сыпучие материалы, такие как карьерный песок, грунт, пескогрунт, глина, супесь и суглинок. После засыпки или выполаживания эти земли можно использовать под посадку разных засухоустойчивых видов растений или под культурные пастбища. Так как большая часть исследуемого участка находится в сухостепной зоне, то необходимо применение методов посадки лесополос из кустарниковых и травянистых растений. Для создания лесополос наиболее подходят такие растения как, терескен серый (*Ceratoides papposa*), костер безостый (*Bromus inermis*), люцерна посевная (*Medicago sativa*), изень (*Koshia prostrata*), костер безостый (*Bromus inermis*) и другие виды

характерные для аридной зоны. Свойства перечисленных растений расписаны в сельскохозяйственном энциклопедическом словаре и других турдах [216, 217]. Посев семян и посадка сеянцев на участках подверженных овражной эрозии надежно скрепляет почвогрунт и со временем зарастает кустарниково-травянистым растительным покровом. На начальных этапах фитомелиоративных работ необходимо запретить выпас скота, чтобы дать возможность расти саженцам и травам. Стадии постепенного процесса зарастания оврагов не редко наблюдаются на западе России [218]. В основном в освоении овражных территорий растительностью является однолетнее и многолетнее широколиственное разнотравье и уже после них появляются злаки, однако зарастание древесными растениями в аридных условиях запада Жетысу Алатау будет нести только локальный характер. Для наиболее активных участков овражного развития необходимо применять инженерные сооружения. Другие методы борьбы с овражной эрозией малоэффективны или вовсе не будут иметь положительных результатов.

Исследуемый участок №4 по геоморфологической структуре состоит из денудационных гор, денудационно-тектонического низкогорья, аккумулятивных равнин. Данная территория относится к западной части хребта Малайсары до реки Иле. На территории относительные высоты варьируются от 10-20 м в равнинной части и до 400-600 м горной части. Имеющиеся на ключевом участке значительные перепады высот создают большие величины крутизны склонов и соответственно увеличивают риск развития эрозионных процессов. На ключевом участке овраги занимают 7,12% от площади участка. Полученное значение площадного распространения овражной сети является высоким и опасным для аграрной среды региона. По динамике овражной эрозии данный участок имеет интенсивный характер развития, несмотря на отсутствие антропогенных факторов относительно других участков исследования. Это объясняется геоморфологическими условиями территории. На участке №4 из-за отсутствия сети инфраструктуры и населенных пунктов, кроме автодороги областного значения и фермерских хозяйств, которые занимаются животноводством, для борьбы с оврагами предлагаются локальные защитные меры. Меры по закреплению оврагов вдоль автомобильной дороги имеют такие цели, как снижение и замедление притока воды к оврагу, укрепление вершинной части оврага и укрепление его днища. Для замедления и уменьшения стока талых снеговых или ливневых вод с площади водосборного бассейна наиболее целесообразно распахивание почвы поперек склонов, где необходим полосный посев пастбищных растений и создание растительного покрова на наиболее крутых склонах. Для уменьшения овражной эрозии вдоль дорог в вершинной части развивающего оврага необходимо применять водонаправляющие сооружения, водозадерживающие и водоотводящие валы, канавы, перепады, консоли, плотины-перемычки и быстротоки различных конструкций. Для закрепления днища оврагов применяют донные сооружения, к ним относятся запруды, каменные наброски и перепады. Донные сооружения способствуют прекращению роста оврагов в глубину и ширину.

Известно, что для применения и реализации тех или иных природоохранных

мероприятии необходима законодательная основа. Правовой основой для улучшения земельных ресурсов страны являются: Земельный кодекс РК; Экологический кодекс РК; Водный кодекс РК; Закон о пастбищах; Закон об особо охраняемых территориях [219-223].

На основе исследования овражной эрозии западной части Жетысу Алатау, анализа научных трудов и статей нами представлен комплекс рекомендательных мероприятий по управлению овражными процессами данной территории (рисунок 5.1). Эти мероприятия направлены на:

- на снижение площади, темпов и скорости развития овражной эрозии;
- на экологическое восстановление территории;
- на сохранение земельных ресурсов.

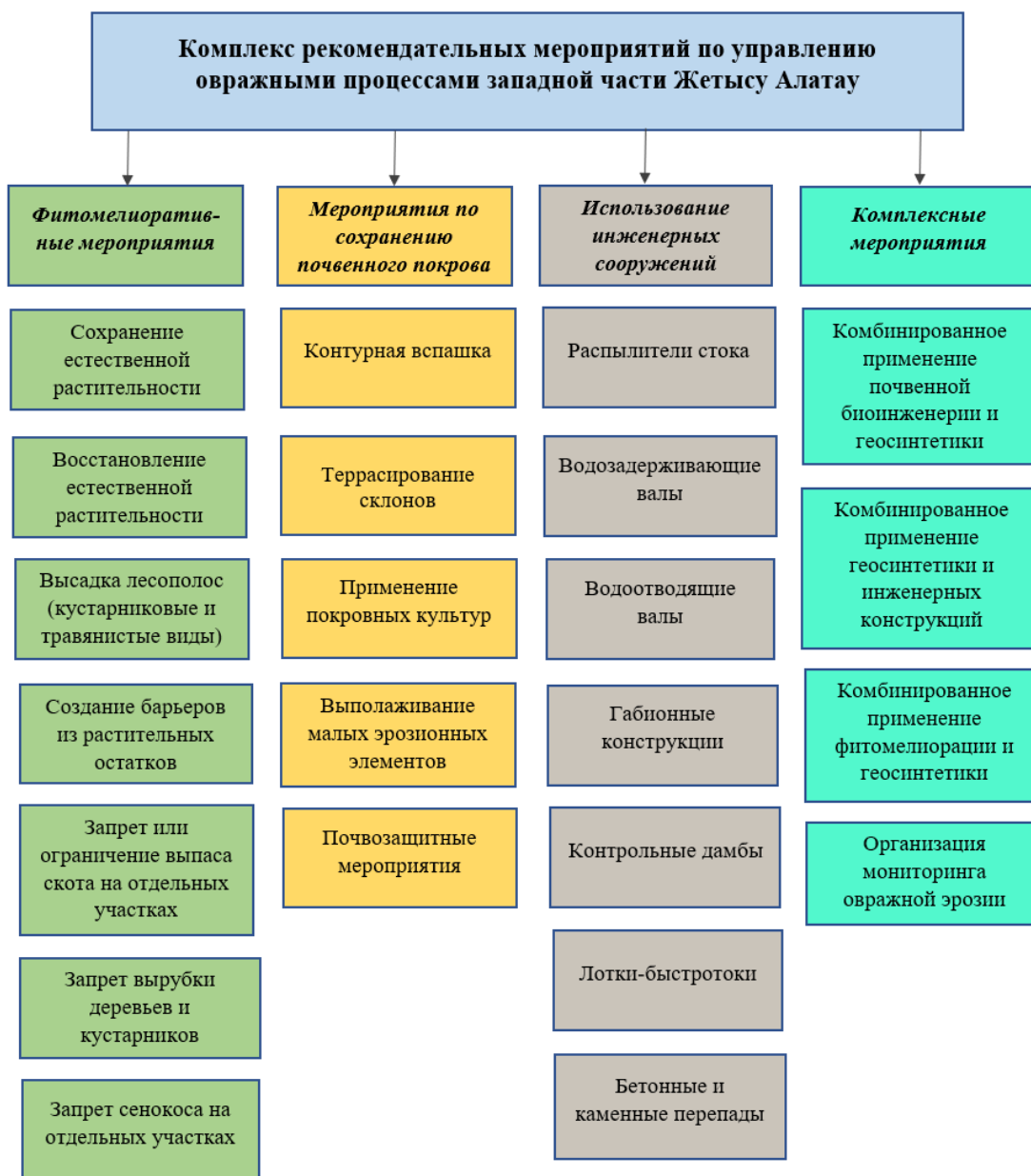


Рисунок 5.1 – Комплекс рекомендательных мероприятий по управлению овражными процессами западной части Жетысу Алатау

Предложенные выше мероприятия по предупреждению и борьбе с овражной эрозией могут найти применение не только в западной части Жетысу Алатау, но также и на территориях со схожими природными условиями.

Выводы по 5 разделу:

Как показало данное исследование в западной части Жетысу Алатау, площадь оврагов ежегодно увеличивается на десятки гектаров, причем нередко это происходит не только в результате продолжающего роста овражной сети, а также за счет появления новых оврагов, особенно в областях интенсивного развития сельского хозяйства, прокладки различных коммуникаций, вырубки деревьев и кустарников, использования новых площадей под пашни. На территории Жетысу Алатау процесс овражной эрозии ускоряет деградацию почвенного покрова, снижая продуктивность сельского хозяйства и оказывая негативное воздействие на местные экосистемы. Традиционные методы борьбы с эрозией часто не справляются с коренными причинами образования оврагов, что требует инновационных и комплексных решений. Устраняя коренные причины овражной эрозии, применение комбинированных методов в борьбе с оврагами способствует улучшению структуры почвы, сокращению потерь плодородных площадей, круговороту питательных веществ, предотвращению дальнейшей деградации земель и эффективному контролю водной эрозии. Интеграция традиционных методов и инновационных технологий обеспечивает многообещающий путь в борьбе с овражной эрозией. Полное понимание и устойчивое управление овражной эрозией должно основываться на участии местного населения и исполнительных органов, в сохранении земельных ресурсов. Продолжение исследований и реализация таких комплексных стратегий необходимы для эффективного решения проблемы овражной эрозии в западной части Жетысу Алатау.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное диссертационное исследование находится в рамках изучения динамики овражной эрозии и решения проблем по борьбе с оврагами для рационального использования сельскохозяйственных и селитебных территорий западной части Жетысу Алатау. Исследование процесса овражной эрозии трудно переоценить, так как оврагами разрушаются земельные угодья, инфраструктурные сети, дороги и промышленные строения. Как показывают полученные результаты исследования, управление овражными процессами и устойчивое развитие горных и предгорных территорий должно базироваться на мониторинге и оценке эрозионных процессов, физико-географических условий и антропогенной нагрузки территорий.

Исследование овражной эрозии в западной части Жетысу Алатау основывалось на изучении о современном представлении развития овражной эрозии, выявлении основных факторов, на выборе методических основ и оценке развития овражной эрозии западной части Жетысу Алатау.

Теоретико-методологической платформой данного исследования стали сравнительно-географический, картографический, ГИС-технологический, полевые наблюдения, дешифрирование ДДЗ, статистическая обработка результатов исследований. Изучение овражной эрозии в западной части Жетысу Алатау базировалась на методах географической и геоэкологической наук. На этапах исследования ведущая роль принадлежала картографическому методу с использованием методов ДДЗ, НЛС и ГИС-технологий. Проведены рекогносцировочные и полевые исследования, созданы ключевые мониторинговые участки с установкой реперов наблюдения за динамикой овражной эрозии. Морфометрический анализ и картометрические методы позволили нам получить характеристики оврагов, рассчитать площадь и объемы овражной сети. Использование метода НЛС позволил определить количественные характеристики развития оврагов, в частности объем смытого грунта, линейные изменения поперечных и продольных профилей. Проводилось вычисление интенсивности роста оврагов путем сопоставления разновременных космических снимков среднего и высокого разрешения (снимки с 2003 по 2022 гг). На основе картографических материалов и космических снимков впервые на территорию исследования были составлены карты густоты овражной сети, плотности оврагов, площадного распространения овражной эрозии и дешифрированы 2031 единица оврагов. Динамика развития овражной эрозии изучалась полевыми и картографическими методами в течение 2003-2022 годов.

Проведена оценка развития овражной эрозии западной части Жетысу Алатау, в результате которого получены морфометрические характеристики оврагов, динамика овражной эрозии, оценка пораженности овражной эрозией, площадное распространение овражной сети.

На основании диссертационной работы сделаны следующие выводы:

1) Данным исследованием выявлены ведущие природные и антропогенные факторы, определяющие развитие овражной эрозии. На развитие овражной эрозии в западной части Жетысу Алатау влияет комплекс факторов, как

природные условия (геолого-геоморфологические, климатические, почвенно-растительные), так и антропогенные (неправильное хозяйственное использование склоновых земель). От сочетания этих факторов зависит возможность возникновения и интенсивность проявления процесса овражной эрозии на территории западного Жетысу Алатау. Установлено, что в долинах рек (особенно рек Быжы и Мукры), в среднегорье, в предгорно-низкогорной зоне, в адырах и на локальных участках рельефа «бедленд» большинство факторов создают максимальные предпосылки для развития овражной эрозии, в то же время литологические свойства грунтов и антропогенные факторы также благоприятствуют этому процессу. В равнинной части исследуемой территории при изучении многих факторов выявлено, что создаются минимальные условия для развития овражной эрозии. Хозяйственная деятельность человека без учета ведущих природных факторов может значительно усугубить овражную эрозию и в последствии привести к деградации земельных ресурсов.

2) Полевые исследования и картографический анализ позволили получить морфометрические данные 1896 оврагов на западе Жетысу Алатау. Длина большинства оврагов (1271 единиц) достигает до 910 м, из них 545 единиц оврагов – до 460 м. Овраги и овражно-саевые системы по центральному тальвегу длиной до 1810 м составляют 76,8%. Ширина оврагов и овражно-саевых систем по центральной части у 469 единиц варьируется от 1,5 м до 10,4 м, у 246 единиц – от 10,5 м до 19,3 м, у 386 единиц – от 19,4 м до 28,2 м и 291 овраг – от 28,3 м до 37,1 м. Согласно полученным количественным данным, 73,5% (1392 единицы) оврагов имеют ширину 1,5-37,1 метров. На исследуемой территории получилось определить глубины 1794 единиц оврагов и овражно-саевых систем. Глубина большинства оврагов в западной части Жетысу Алатау варьируется от 1,5 м до 41,8 м (94,8 % или 1700 единиц), в зависимости от глубины местного базиса эрозии. Выявлена крутизна склонов 646 единиц оврагов и овражно-саевых систем по центральным тальвегам. Эрозионные процессы на склонах развиваются на поверхностях с уклоном более 1-2°, когда действие силы гравитации оказывается более ощутимым. Крутизна большинства оврагов в западной части Жетысу Алатау варьируется от 0,06 до 7,06 градусов (92,7 % или 599 единиц), в зависимости от естественного откоса склона. Остальная небольшая часть оврагов имеют крутизну больше 7,06 градусов.

3) За последнее 20 лет в западной части Жетысу Алатау развитие овражной эрозии имеет тенденцию к нарастанию. Получена следующая динамика оврагов в исследуемом регионе:

- по росту вершин оврагов в среднем составляет 0,77-1,38 м/год;
- среднее значение площадного развития оврагов составляет 73,34 м²/год;
- по смытому объему грунтов вершинной части оврагов составляет в среднем 9,36 м³/год;
- объем смытого грунта отдельных оврагов имеет средний показатель 180,31 м³.

4) Впервые составлены карты густоты овражной сети для района исследования, где выделено 7 категорий территорий с различной степенью пораженности. Карты по густоте овражной сети позволяют выделить участки,

где интенсивная овражная эрозия наносит значительный ущерб сельскохозяйственным, селитебным структурам и другим видам хозяйственной территорий. Участки густоты овражной сети с категорией очень сильная и сильная требуют более активного проведения противоэрозионных мероприятий.

5) Впервые составлены карты плотности оврагов для района исследования, где выделено 6 категорий территорий с различной степенью плотности оврагов. Карты плотности оврагов дают возможность определять число оврагов на той или иной территории и делать анализ о развитии овражной эрозии, характеризуют фактическую величину овражного расчленения и дают степень современной подверженности земель деградации.

6) Впервые получены количественные данные площадного распространения овражной сети в западной части Жетысу Алатау. Выявлены следующие результаты площадного распространения овражной сети от общей площади исследуемых участков: участок №1 (773,30 км²) - 10,75% (83,13 км²), участок №2 (1500,87 км²) - 3,46% (51,93 км²), участок №3 (2005,88 км²) - 0,51% (10,23 км²), участок №4 (125,98 км²) - 7,12% (8,97 км²). Распространение оврагов по площади представляет собой динамический процесс, находящийся под влиянием множества природных и антропогенных факторов. Поскольку овраги постепенно охватывают большие территории, они создают серьезные проблемы в развитии земельных ресурсов, селитебных территорий и экосистем.

7) Овраги и саи, видоизменяясь во времени, зависят от связанной с ними рельефной среды и в то же время оказывают влияние на него. Непродуманное воздействие на овраги, овражно-саевые системы и эрозионные процессы, приводит к ответной реакции, выражающейся в активизации овражной эрозии. Овражная эрозия наносит ущерб многим отраслям хозяйственной деятельности, связанных с землепользованием. Наиболее репрезентативными являются сельскохозяйственные территории, где проявление овражной эрозии приводит к потере пахотных площадей и расчленению склонов. Исследование оврагов, овражных форм и саев в регионе даёт основу для разработки противоовражных мероприятий, к предотвращению овражной эрозии с учетом географического расположения, геолого-геоморфологических особенностей и антропогенной нагрузки территории.

8) Разработаны научно-обоснованные рекомендации по управлению овражными процессами западной части Жетысу Алатау с учетом региональных особенностей. Представлен следующий комплекс рекомендательных мероприятий по управлению овражными процессами западной части Жетысу Алатау – фитомелиоративные мероприятия, меры по сохранению почвенного покрова, использование инженерных сооружений, комплексные мероприятия. Интеграция традиционных методов и инновационных технологий обеспечивает в борьбе с овражной эрозией эффективные меры для защиты земельных ресурсов. Предложенные рекомендации направлены на снижение эродированных площадей, темпов и скорости развития овражной эрозии, на экологическое восстановление территории и сохранение земельных ресурсов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Косов Б.Ф., Зорина Е.Ф., Любимов Б.П. и др. Овражная эрозия / Под ред. Р.С. Чалова. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 166 с.
- 2 География овражной эрозии / Под ред. Е.Ф. Зориной. – М.: Изд-во МГУ, 2006. – 324 с.
- 3 Соболев С.С. Развитие эрозионных процессов на территории Европейской части СССР и борьба с ними. Ч. 1. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1948. – 308 с.
- 4 Арманд Д.Л. Антропогенные эрозионные процессы // Сельскохозяйственная эрозия и борьба с ней. – М.: Наука, 1956. – С. 7-37.
- 5 Арманд Д.Л. Классификация эрозионных форм и процессов // Вопросы методики почвенно-эрозионного картирования. – М.: Наука, 1972. – С. 301-312.
- 6 Маккавеев Н.И. и др. Русло реки и эрозия в ее бассейне (переиздание книги 1955 г.). – М.: Географ. факультет МГУ, 2003. – 354 с.
- 7 Заславский М.Н. Эрозия почв. – М.: Мысль, 1979. – 245 с.
- 8 Любимов Б.П. Опыт составления карт размываемости покровных горных пород для целей инженерной оценки эрозионного рельефа // Вест. МГУ. Сер. 5. География. – 1978. – №1. – С.42-47.
- 9 Тимофеев Д.А. Терминология флювиальной геоморфологии. – М.: Наука, 1981. – 268 с.
- 10 Кесь А.С. Основные стадии развития современного овражно-эрозионного рельефа // Проблемы физической географии. – Т. 15. – Изд-во АН СССР, 1950. – С. 45-58.
- 11 Рысин И.И. Овражная эрозия в Удмуртии. – Ижевск: Изд-во Удмуртск. ун-та, 1998. – 274 стр.
- 12 Рожков А.Г. Борьба с оврагами. – М.: Колос, 1981. – 198 с.
- 13 Жандаев М.Ж. Геоморфология Заилийского Алатау и проблемы формирования речных долин. – Алма-Ата: Изд-во «Наука», 1972. – 163 с. – С. 73-77.
- 14 Медеу А.Р. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана: Основы управления. Т. 1. – Алматы, 2011. – 284 с.
- 15 Ульман А.А. Процессы овражной эрозии в сухостепных ландшафтах северных предгорий Заилийского Алатау: автореферат дис. ... кандидата географических наук: 11.00.01. – Алматы, 1996. – 25 с.
- 16 Нигматов А.Н. Геоэкологические аспекты заовраженности и техногенной нарушенности земель Узбекистана. – Ташкент: Изд. НУУз, 2005. – С. 31.
- 17 С. Castillo, J.A. Gomez A century of gully erosion research: Urgency, complexity and study approaches // Earth-Science Reviews, Volume 160, September 2016, Pages 300-319. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.07.009>.
- 18 Zhen Li, Yan Zhang, Qingke Zhu, Song Yang, Hongjun Li, Huan Ma. A gully erosion assessment model for the Chinese Loess Plateau based on changes in gully length and area // Catena, Vol. 148, 195-203.
- 19 Ollobarren, P.; Capra, A.; Gelsomino, A.; La Spada, C. Effects of ephemeral gully erosion on soil degradation in a cultivated area in Sicily (Italy). Catena 2016, 145, 334–345, Google Scholar, CrossRef.

- 20 Matthias Vanmaercke et al. How fast do gully headcuts retreat? // *Earth-Science Reviews*. Volume 154 March 2016, Pages 336-355. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.01.009>.
- 21 Щукин И.С. Общая геоморфология. Т.1. – М.: Изд-во МГУ, 1960. – 615 с.
- 22 Овражная эрозия / Б.Ф. Косов, Е.Ф. Зорина, Б.П. Любимов, Л.А. Морякова, И.И. Никольская, С.Д. Прохорова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989. – 168 с.
- 23 Ковалёв С.Н. Овражно-балочные системы в городах. – Москва: Компания ПринтКоВ, 2011. – 138 с.
- 24 Clark, A.N. (ed.) 1985. Long man dictionary of Geography: human and physical. Butler & Tanner Ltd. 724 p.
- 25 Osbon, H.B., & Simanton, J.R. 1989. Gullies and sediment yield // *Rangelands*, 11 (2), 51-56.
- 26 Summerfield, M.A. 1991. *Global Geomorphology*. Longman Singapore Publ. 537 p.
- 27 Poesen, J. 1993. Gully typology and gully control measures in the European loess belt // *Farm Land Erosion in Temperate Plains Environment and Hills* (ed. By S. Wicherek), Elsevier, Amsterdam, pp. 221-239.
- 28 Poesen J. Nashtergaele J. Verstraeten G., Valentin O. Gully erosion and Environmental Change: Importance and Research Needs // *Catena*. 2003. Vol. 50. Pages 91-133.
- 29 Ломоносов М.В. О слоях земных. – М.-Л.: Изд-во Госгеолитиздат, 1949. – 218 с.
- 30 Болотов А.Т. Избранные сочинения по агрономии, плодоводству, лесоводству и ботанике. – Москва, 1952. – 524 с.
- 31 Киприянов В.А. Заметки о распространении оврагов в южной России // *Журнал Главного Управления путей сообщения*. – Т. 26. Спб. 1857. – С. 139-150.
- 32 Леваковский И.Ф. Курс геологии. Харьков. – Т. 1. – 1860. – 212 с.
- 33 Никитин С.Н. Бассейн Оки // *Труды экспедиции для исследования источников главных рек Европейской России*. – СПб. 1895. – 249 с.
- 34 Кизеньков С.Н. Овраги и их укрепление // *Полная Энциклопедия русск. сельск. хоз-ва*. – Т. 6. Спб. 1902. – С. 95-139.
- 35 Козменко А.С. Краткий очерк о ходе работ по гидрологическому исследованию Тульской губернии 1914 г. – Тула, 1915. – С. 15.
- 36 Масальский В.И. Овраги черноземной полосы России, их распространение, развитие и деятельность. – СПб., 1887. – 252 с.
- 37 Козменко А.С. Борьба с эрозией почв. – М.: Сельхозгиз, 1949. – 208 с.
- 38 Мушкетов И.В. Физическая геология. – СПб, 1905. – Т. 2. – М.-Л., 1926. – 360 с.
- 39 Саваренский Ф.П. Эрозионные формы рельефа // *Геодезист*. – № 7-8. – М., 1926. – С. 9-10.
- 40 Гужевая А.Ф. Овраги Среднерусской возвышенности // *Труды Ин-та географии АН СССР. Материалы по геоморфологии и палеогеографии СССР*. Т. 42. Вып. 1. – М.-Л., 1948. – С. 37-74.

- 41 Никитин С.Н. Бассейн Оки // Труды экспедиции для исследования источников главных рек Европейской России. – СПб. 1895. – 249 с.
- 42 Занин Г.В. Эрозионные формы рельефа, создаваемые временными водотоками, и принципы их лесомелиорации // Известия АН СССР. Серия География. – 1952. – №6. – С. 10-23.
- 43 Лидов В.П., Дик Н.Е., Николаевская Е.М., Сетунская Л.Е., Хмелева Н.В. Классификация современных линейных форм эрозии // Известия АН СССР. Серия География. – 1954. – №3. – С. 91-102.
- 44 Бутаков Г.П., Дедков А.П., Зорина Е.Ф., Ковалев С.Н., Косцова Э.В., Назаров Н.Н., Никольская И.И., Семенов О.П., Хруцкий С.В. Эрозионный рельеф временных водотоков Восточно-Европейской равнины // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 2. – М., 1996. – С. 24-39.
- 45 Мильков Ф.Н. Словарь-справочник по физической географии. – М.: Мысль, 1970. – 342 с.
- 46 Солонько В.В. Овраги и борьба с ними. – Иркутск, 1979. – 63 с.
- 47 Еременко Е.А., Панин А.В. Ложбинный мезорельеф Восточно-Европейской равнины. – М.: МИРОС, 2010. – 192 с.
- 48 Большая советская энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1969-1978. – 672 с.
- 49 Ковалев С.Н. Долины верхних звеньев флювиальной сети: переходное звено от склоновых элементарных эрозионных форм к речным долинам // Всероссийская научно-практическая конференция и мезвузовское координационное совещание «Эволюция эрозионно-русловых систем, ее хозяйственно-экономические и экологические последствия, прогнозные оценки и учет». Уфа. 3-6 октября 2017 г. – Уфа, 2017. – С. 30-42.
- 50 Рожков А.Г. Борьба с оврагами в СССР и за рубежом. Сер.: Лесные культуры, защитное лесоразведение и лесомелиорация. – М.: Центральное бюро научно-технической информации, 1975. – 37 с.
- 51 Зорина Е.Ф., Ковалев С.Н., Никольская И.И. Подходы к типизации оврагов // Геоморфология. – 1998. – № 2 (апрель-июнь). – С. 75-80.
- 52 Козьменко А.С. Борьба с эрозией почв на сельскохозяйственных угодьях. – М.: Сельхозгиз, 1963. – 208 с.
- 53 Докучаев В.В. Способы образования речных долин Европейской России. – СПб., 1878. – 216 с.
- 54 Молодкин П.Ф. Антропогенное рельефообразование степных равнин: (На прим. равнин бассейна Ниж. Дона) / Рост. гос. ун-т. – Ростов н/д: Изд-во Рост. ун-та, 1992. – 140 с.
- 55 Веретенникова М.В., Зорина Е.Ф., Ковалев С.Н., Любимов Б.П., Никольская И.И., Прохорова С.Д., География овражной эрозии, Выпуск 11. – Москва: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 1998. – С. 106.
- 56 Козменко П.С. Работы Новосильской опытно-овражной станции по изучению приемов борьбы с эрозией. Сб. «Эрозия почв». – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1937. – С. 155-185.

- 57 Рожков А.Г., Волощук М.Д. Овражная эрозия в Молдавии. Сб. «Эрозия почв и русловые процессы» вып. 1. – МГУ, 1970. – С. 116-124.
- 58 Козменко А.С. Основы противоэрозионной мелиорации. – М.: Сельхозгиз, 1954. – 421 с.
- 59 Лидов В.П., Дик Н.Е., Николаевская Е.М., Хмелева Н.В. Донные овраги и их развитие (на примере развития ключевых участков правобережья Дона) // Борьба с эрозией путем лесоразведения. Тр. ин-та леса АН СССР, том XI, изд. IV. 1959.
- 60 Литвин Л.Ф., Хмелева Н.В. Развитие линейных эрозионных форм в горах // Работа водных потоков. – М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1987. – С. 98-103.
- 61 Гайварон Т.Д. Стадии развития овражно-балочных форм Среднерусской возвышенности (на примере бассейна р.Сейм) // Автореферат дисс...канд. Геогр.наук. – М., 1983. – 20 с.
- 62 Косов Б.Ф., Никольская И.И., Любимов Б.П. О методике составления карт противоэрозионной устойчивости горных пород для целей учета потенциальной опасности развития линейной эрозии // Эрозия почв и русловые процессы. Вып.3. – 1973. – С. 116-126.
- 63 Подобедов Н.С. Общая физическая география и геоморфология: учебник/ Н.С. ... экон. исслед. (ЦНИИТЭИ рыб. хоз-ва). – М.: ЦНИИТЭИРХ, 1974. – 68 с.
- 64 Жандаев М.Ж. Эрозия почв в южных предгорных районах Алма-Атинской области и борьба с нею. // Изв. АН КазССР. Сер. ботаника и почвоведение. 1961. Вып. 3(12). – С. 26-33.
- 65 Жандаев М.Ж. Классификация форм рельефа Заилийского Алатау // Вестник АН КазССР, 1965. – №5. – 1965. – С. 29-34.
- 66 Жандаев М.Ж. Палеографические условия развития рельефа Заилийского Алатау // Географические науки. Вып. I. – Алма-Ата, 1969. – 12 с.
- 67 Калмынкина Е.М. Физико-географические особенности Заилийского Алатау и влияние их на развитие эрозионных процессов. // Автореф. дисс. на соиск. учен. степени кандидата географических наук. – М., 1968. – 29 с.
- 68 Косов Б.Ф., Зорина Е.Ф., Константинова Г.С., Любимов Б.П., Белова Е.М., Никольская И.И. Современная овражность и потенциал оврагообразования на территории СССР. – М.: Деп. ВИНТИ 1979. №4266-79. 179. – 243 с.
- 69 Антощенко-Оленев И.В. Соотношение деструктивного рельефа с вещественными элементами и процессами в геологической среде // Геоморфология. – 1988. – №3. – С. 41-45.
- 70 Дедков А.П. Об интенсивности экзогенных процессов в семиаридной зоне // Количественный анализ экзогенного рельефообразования. – Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1987. – С. 60-76.
- 71 Работа водных потоков / Под редакцией Р.С.Чалова. – М.: МГУ, 1987. – 194 с.
- 72 Швебс Г.И. Теоретические основы эрозиоведения. – Киев-Одесса: Виша школа, 1981. – 244 с.
- 73 Абдулин А.А. Геология и минеральные ресурсы Казахстана. – Алма-Ата, 1994. – 400 с.

- 74 Геология и металлогения Джунгарского Алатау. – Алма-Ата, 1966. – 263 с.
- 75 Геологическая карта Казахской ССР. Масштаб 1:500000. Серия Южно-Казахстанская. – Алма-Ата, 1981.
- 76 Геологическая карта Казахской ССР. Масштаб 1:200 000. L-43-XXXVI. – Недра, 1961.
- 77 Майрин С.Е., Стеркин В.Д. Геологическая карта СССР (объяснительная записка) масштаба 1:200 000. L-43-XXXVI (серия Джунгарская). – М.: Недра, 1961. – 52 с.
- 78 Костенко Н.Н. Четвертичные отложения Казахстана и прилегающих территорий союзных республик. – Алма-Ата: Наука, 1987. – 156 с.
- 79 Инженерная геология СССР. Урал, Таймыр и Казахская складчатая страна. В.П. Бочкарев, И.А. Печеркин, Я.В. Неизвестнов и др. – М., 1990. – 408 с.
- 80 Дедков А.П. Овражная эрозия востока Русской равнины. – Казань: Изд-во Казанского университета, 1990. – С. 8-107.
- 81 Guo, L., Liu, G., Zhao, G., & Zhang, Y. (2017). Influence of lithological composition on gully erosion on the Chinese Loess Plateau. *Journal of Mountain Science*, 14(8), 1497-1509. doi: 10.1007/s11629-017-4444-2.
- 82 Prasad, S. K., Ramesh, H., Kumar, D., & Ghosh, A. K. (2016). Soil properties and their influence on gully erosion in the Himalayan region. *Geoderma Regional*, 7(2), 184-191. doi: 10.1016/j.geodrs.2016.01.004.
- 83 Справочник по инженерной геологии / под. ред. Чуринова П.В. – М.: Недра, 1981. – 325 с.
- 84 Ивонин В.М. Условия оврагообразования в просадочных лёссовидных породах // Геоморфология. №3. АН СССР. – Москва, 1984. – С. 61.
- 85 Республика Казахстан. Том 1. Природные условия и ресурсы / Под ред. Н.А. Искаков, А.Р. Медеу. – Алматы, 2006. – 202 с.
- 86 Сарсеков А.С., Вислогузова А.В., Владимиров Н.М., Гуськов А.И., Медеу А.Р., Нурмамбетов Э.И., Потапова Г.М. Рельеф Казахстана. – Алматы, 2017. – 134 с.
- 87 Deng, Q.C.; Qin, F.C.; Zhang, B.; Wang, H.P.; Luo, M.L.; Shu, C.Q.; Liu, H.; Liu, G.C. Characterizing the morphology of gully cross-sections based on PCA: A case of Yuanmou Dry-Hot Valley. *Geomorphology* 2015, 228, 703–713., Google Scholar, CrossRef.
- 88 Li, P.F.; Mu, X.M.; Holden, J.; Wu, Y.P.; Irvine, B.; Wang, F.; Gao, P.; Zhao, G.J.; Sun, W.Y. Comparison of soil erosion models used to study the Chinese Loess Plateau. *Earth-Sci. Rev.* 2017, 170, 17–30., Google Scholar, CrossRef, Green Version.
- 89 Халықов Е.Е., Тоғыс М.М. Жетісу өңіріндегі жыралық эрозия мен басқа да бедер түзуші үдерістердің мониторингі // Вопросы географии и геоэкологии. – 2018. – №4. – С. 15-24.
- 90 DR Montgomery, JM Buffington Channel processes, classification, and response, *River Ecology and Management: Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion*, 1998, pages.13-42.

- 91 Stroosnijder, L., Ouessar, M., Maataoui, A., van Dam, J. C., & Ritsema, C. J. (2004). On the initiation of ephemeral gully erosion. *Soil Science Society of America Journal*, 68(2), 457-464.
- 92 Zhang, J., Chen, J., Zhang, K., & Wang, X. (2017). Soil erodibility under different slope gradients, lengths and convexities in the Loess Plateau of China. *Journal of Mountain Science*, 14(12), 2408-2418.
- 93 Gupta, S., Rawat, J. S., & Tiwari, A. K. (2018). Assessment of soil erosion in a Himalayan watershed using RUSLE and GIS. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(6), 327.
- 94 Xiang, Y., Wang, T., Huang, J., & Lu, Y. (2018). An empirical model for predicting gully initiation on the Loess Plateau.
- 95 Gao, P., Tian, Y., Shi, C., & Wang, T. (2017). Relationship between slope length and the initiation of gully erosion on the Chinese Loess Plateau. *Geomorphology*, 282, 24-32.
- 96 Lobaugh, C. R., & Hooke, J. M. (2002). The relationship between slope gradient and channel initiation as an indicator of hydrologic sensitivity to land use change. *Geomorphology*, 47(1), 71-88.
- 97 Lu, D., & Guo, X. (2015). Topographic effects on gully erosion: A case study from a semi-arid watershed on the Loess Plateau, China. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40(11), 1462-1474.
- 98 Jiao, J., Zhu, A. X., & Liu, X. (2018). Gully erosion susceptibility assessment using frequency ratio, analytic hierarchy process, and logistic regression models in the Dongshan Watershed, China. *Catena*, 161, 71-80.
- 99 Chen, J., Yang, Q., Wang, X., & Zhang, K. (2016). The spatial distribution characteristics and driving factors of gully erosion in a small watershed on the Loess Plateau, China. *Catena*, 136, 11-19.
- 100 Liu, L., Wu, J., Wu, Q., & Zhang, W. (2018). Spatial distribution of ravine erosion in relation to relief topography in a karst region of southwest China. *Journal of Mountain Science*, 15 (8), 1672-1682.
- 101 Lu, H., Yang, L., Zhao, Y., Zhao, S., & Wang, X. (2019). Quantitative assessment of the effect of topographic scale on gully erosion initiation. *Environmental Earth Sciences*, 78(2), 1-9.
- 102 Wang, Y., Fu, B., Gao, G., and Zhou, J. (2014). The impact of horizontal dissection of the relief on the development of gully erosion in the Loess Plateau of China. *Catena*, 120, 105-112. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.04.008>.
- 103 Sidle, R. C., and Ochiai, H. (2006). Gully erosion processes and modeling. In *Erosion and sedimentation* (pp. 383-406). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/1-4020-4249-9_18
- 104 Gebremichael, D.D., Steenhuis, T.S., and Collick, A.S. (2013). The influence of catchment morphology on the sediment yield from gully erosion in the Ethiopian highlands. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(10), 1078-1086. <https://doi.org/10.1002/esp.3356>
- 105 Yu, X., Zhang, K., Leng, Y., He, X., & Wang, J. (2019). The effect of slope gradient on the formation and evolution of gully erosion in the Loess Plateau, China. *Catena*, 174, 279-289. doi:10.1016/j.catena.2018.11.024

- 106 Chen, X., Zhang, Y., Yang, X., Wang, Y., & Li, B. (2018). The relationship between topography and gully erosion in a hilly region of Southeast China. *Catena*, 170, 44-54. doi:10.1016/j.catena.2018.06.022
- 107 Onyango, J. A., Zhang, G., & Xie, H. (2018). Quantitative analysis of gully erosion and its relationship with terrain factors in the Lake Victoria Basin, Kenya. *Environmental Earth Sciences*, 77(5), 174. doi:10.1007/s12665-018-7373-3
- 108 Рысин И.И., Григорьев И.И. Влияние гидрометеорологических факторов на рост оврагов в Удмуртии // Вестн. Удмурт. Ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. Вып. 4. – 2010. – С.137-146.
- 109 Ларионов Г.А. Эрозионный потенциал осадков // Работа водных потоков. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – С.17-121.
- 110 Ларионов Г.А. Изучение механизма поверхностного смыва при выпадении дождевых осадков // Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях. – М.: МГУ, 1981. – 18 с.
- 111 Рельеф и климат // Отв. Ред. А.И. Спиридонов, И.И. Спаская. – М.: МФ ГО СССР, 1985. – 180 с.
- 112 Титова З.А. Осадки, сток и эрозия в условиях степного Забайкалья // Вопросы динамической геоморфологии. – Иркутск, 1977. – С. 37-54.
- 113 Рысин И.И., Голосов В.Н., Григорьев И.И., Зайцева М.Ю. Влияние изменений климата на динамику темпов роста оврагов на Вятско-Камского междуречья // Журнал Геоморфология. – №1. – Москва, 2017. – С.90-103.
- 114 Markus Kottek, Jürgen Grieser, Christoph Beck, Bruno Rudolf, Franz Rubel. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated // *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 15, No. 3, June 2006, 259-263.
- 115 Национальный атлас Республики Казахстан. Т.1 (Природные условия и ресурсы). – Алматы, 2010. – 150 с. – С. 57-71.
- 116 Wang, L., Li, Z., Chen, Y., and Zhang, P. (2015). Quantitative analysis of rainfall characteristics and their relationship with gully erosion in the loess plateau of China. *Journal of Mountain Science*, 12(4), 851-863. <https://doi.org/10.1007/s11629-014-3142-x>.
- 117 Thomas, M. F., Noormets, A., Zhang, Y., and Seiler, R. (2015). Spatial patterns and controls of gully erosion in southeastern US coastal plain landscapes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40(5), 594-604. <https://doi.org/10.1002/esp.3657>
- 118 Bewket, W., and Sterk, G. (2005). Dynamics in land cover and its effect on stream flow in the Yew watershed, Ethiopia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 9(2), 127-135. <https://doi.org/10.5194/hess-9-127-2005>
- 119 Справочник по климату Казахстана. Раздел 2 – Атмосферные осадки. Вып. 14. Алматинская область. – Алматы, 2004. – С. 13-14.
- 120 Angeline G. Pendergrass, Reto Knutti. The Uneven Nature of Daily Precipitation and Its Change. // *Geophysical Research Letters*. Volume 45, Issue 21. Nov 2018. Pages 11,980-11,988. <https://doi.org/10.1029/2018GL080298>
- 121 Утешев А.С. Климат Казахстана. – Л.: Гидрометеиздат, 1959. – С.345.

- 122 Chen, W., Peng, J., Ma, W., and Li, H. (2019). Spatiotemporal patterns and driving factors of gully erosion in Yunnan, China. *Sustainability*, 11(19), 5328. <https://doi.org/10.3390/su11195328>
- 123 Zhang, L., Fu, B., Lu, Y., Huang, Y., and Liu, S. (2018). Temperature and gully erosion in the karst region of Yunnan Province, China. *Catena*, 165, 292-300. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.02.026>
- 124 Kavvas, M. L., Bayazit, M., Yuan, F., and Chen, Z. Q. (2009). The effect of temperature on gully erosion. *Catena*, 77(2), 104-112. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.01.006>
- 125 Справочник по климату Казахстана. Раздел 1 – Температура воздуха. Вып. 14. Алматинская область. – Алматы, 2004. – С. 51-52.
- 126 Wang, G., Nearing, M. A., & Liu, B. (2018). Wind erosion and its interactions with gully erosion in the Loess Plateau of China: A review. *Aeolian Research*, 30, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2017.08.003>
- 127 Yixuan Liu, Xiaolin Hou, Jixin Qiao, Weichao Zhang, Miao Fang, Mu Lin (2023) Evaluation of soil erosion rates in the hilly-gully region of the Loess Plateau in China in the past 60 years using global fallout plutonium. *Catena*, Volume 220, Part A, January 2023, 106666. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106666>
- 128 Wu, X., Zhou, P., Wu, Q., Wu, J., & Fang, N. (2021). Effects of wind erosion on gully morphology in a red soil hilly region of southern China. *Land Degradation & Development*, 32(1), 371-383. <https://doi.org/10.1002/ldr.3735>
- 129 Справочник по климату Казахстана. Раздел 5 – Ветер. Вып. 14. Алматинская область. – Алматы, 2005. – С. 150-151.
- 130 Fentie, T. (2015). Gully erosion: causes, impacts and rehabilitation practices. *Journal of Ecosystem and Ecography*, 5(4), 1-7. doi:10.4172/2157-7625.1000169
- 131 Wang, Y., Liu, Y., Tian, J., Wang, X., & Cheng, L. (2016). Effect of soil texture on the formation of gully erosion in purple soil area of Southwest China. *Catena*, 137, 94-102. doi: 10.1016/j.catena.2015.09.006
- 132 Zhou, J., Wang, G., Hu, G., Zhang, K., & Ma, Z. (2019). The impact of soil properties on gully erosion in the hilly Loess Plateau region of China. *Catena*, 173, 54-62. doi: 10.1016/j.catena.2018.09.026
- 133 Wainwright, J., Parsons, A. J., & Brazier, R. E. (2011). Gully erosion: impacts, factors and control. *Catena*, 85(2), 168-192. doi: 10.1016/j.catena.2011.01.008
- 134 Дурасов А.М., Тазабеков Т.Т. Почвы Казахстана. – Алма-Ата: Кайнар, 1981. – 152 с.
- 135 Пачикин К.М., Ерохина О.Г., Адамин Г.К., Ершибулов А.К., Сонгулов Е.Е. Почвы предгорных равнин хребта Малайсары и их деградация // Почвоведение и агрохимия. – №4. – 2018. – С. 5-21.
- 136 Недикова Е.В., Недиков К.Д. Анализ факторов оврагообразования для определения специфики хозяйственного использования и внедрения систем противоэрозионных мероприятий // Экономика и экология территориальных образований. – 2019. – Т.3. № 2. – С. 65-71.

- 137 Zhang, Y., Niu, J., Zhang, Y., and Yang, M. (2017). Effects of vegetation cover on gully erosion in the Loess Plateau of China. *Catena*, 149, 719-729.
- 138 Moges, M.A., Holden, N.M., and Regan, J.T. (2019). The influence of vegetation cover on gully erosion in the Ethiopian highlands. *Land Degradation & Development*, 30(6), 697-708.
- 139 Chen, Y., Wang, F., Cao, H., Li, J., Liu, B., & Niu, J. (2014). Effects of vegetation coverage on soil erosion in different slope aspects of the Loess Plateau. *Catena*, 119, 21-32.
- 140 Zhao, W., Han, L., Gu, Y., & Wang, J. (2017). Effects of vegetation coverage on soil erosion under different rainfall intensities and slope gradients: a case study in the Loess Plateau of China. *Environmental Earth Sciences*.
- 141 Jiang, C., Zhang, L., Li, Y., Li, B., Li, Q., & Bai, S. (2020). Study on the effect of vegetation coverage on gully erosion in karst area of Guizhou Province. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(8), 7963-7973.
- 142 Ma, H., Han, Q., Wu, Y., & Zhang, J. (2021). The relationship between vegetation and soil erosion in a semi-arid region of China: A case study of Ningxia Hui Autonomous Region. *Science of The Total Environment*, 769, 144546
- 143 Smetanova, A., Stokes, A., and Mucha, J. (2019). The role of vegetation in soil erosion control: a review. *Earth-Science Reviews*, 198, 102913
- 144 Imeson, A.C., Verstraten, J.M., and Zhang, X.C. (1992). Soil erosion on slopes with shallow and deep rooted vegetation. *Catena*, 19(1), 47-56.
- 145 Горелов С.К., Граве М.К., Козлова А.Е., Тимофеев Д.А. Карта современных геоморфологических процессов СССР масштаба 1:2500000 // *Геоморфология*. – 1990. – №1. – С. 4-14.
- 146 Michael D. Frachetti, Norbert Benecke, Alexei N. Mar'yashev, Paula N. Doumani Eurasian pastoralists and their shifting regional interactions at the steppe margin: settlement history at Mukri, Kazakhstan // *World Archaeology. Debates in World Archaeology*. V. 42, 2010 – Issue 4.
- 147 Бурыкин А.М. Эрозионные процессы на отвалах промышленных разработок и принципы подхода к их изучению // *Оценка и картирование эрозионноопасных и дефляционноопасных земель*. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1973. – С. 51-52.
- 148 Фирсенкова В.М. Морфодинамика антропогенного рельефа. – М.: ИГАН СССР, 1987. – 200 с.
- 149 Смолянинов В.М., Сорокина Л.А. Природные и антропогенные факторы овражной эрозии // *Эрозионные и селевые процессы и борьба с ними*. – М., 1974. – С. 34-37.
- 150 Jacob O. Ehiorobo, H.A.P. Audu. Monitoring of gully erosion in an urban area using geoinformation technology // *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences*. Vol.3 No.2.
- 151 Napoleon Gudino-Elizondo et al. Rapid assessment of abrupt urban megagully and landslide events with structure-from-motion photogrammetric techniques validates link to water resources infrastructure failures in an urban periphery // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. Volume 22, issue 2, p. 523–538, 2022.

152 Guido Zolezzi, Marco Bezzi, Daniele Spada, Elisabetta Bozzarelli. Urban gully erosion in sub-Saharan Africa: A case study from Uganda // *Land Degradation & Development*. Volume 29, Issue 3, March 2018, Pages 849-859.

153 Отчет о НИР: «Географические основы обеспечения безопасности природопользования горных и равнинных территорий Казахстана». – Алматы, 2014. – 424 с. – С. 134, 137.

154 Халыков Е.Е. Применение методик лазерного сканирования и геоинформационных систем при изучении овражной эрозии (Казахстан) // Журнал «Вестник Московского университета». Серия 5. География. – № 5. – 2018. – С. 36-43.

155 Веретенникова М.В., Завадский А.С., Зорина Е.Ф., Каргаполова И.Н., Ковалев С.Н., Дубовицкий А.Ю. Овражная эрозия на территории ландшафтного заповедника "Крылатские холмы" в г. Москве // *Геоморфология*, 2007. – №3. – С. 63-70.

156 R. Gimenez, I. Marzolff, M. A. Campo, M. Seeger, J. B. Ries, J. Casali¹ and J. Alvarez-Mozos. Accuracy of high-resolution photogrammetric measurements of gullies with contrasting morphology. *Earth surface processes and landforms, Earth Surf. Process. Landforms* 34, 1915–1926 (2009), <https://doi.org/10.1002/esp.1868>

157 Walker, S. M., J. C. Fox, and M. E. Earls. (2018). Relationships among soil properties, land use change, and gully development in the southeastern United States. *Catena*, 162, 203-214. doi: 10.1016/j.catena.2017.11.027

158 Сетунская Л.Е. Овражная эрозия (методы изучения) // Методы полевых геоморфологических экспериментов в СССР. – М., 1986. – С.48-65.

159 Миронова Е.А. Сетунская Л.Е. Методика и результаты многолетних наблюдений за развитием оврагов в Поволжье // Современные аспекты изучения эрозионных процессов. – Новосибирск, 1980. – С. 215-220.

160 Бутаков Г.П., Бабанова Г.А., Двинских А.П., Назаров Н.Н., Рысин И.И. Анализ скоростей овражной эрозии в различных условиях востока Русской равнины // Количественный анализ экзогенного рельефообразования (к XIX Пленуму геоморфологической комиссии АН СССР). – Казань: Изд-во Казан. Унта, 1987. – С.77-89.

161 Рысин И.И. Стационарные исследования овражной эрозии в Удмуртии // Девятое межвуз. координ. совещ. по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов (тезисы докл.). – Брянск, 1994. – С. 117-118.

162 Косов Б.Ф., Никольская И.И. Динамика роста оврагов // Эрозионные процессы. – М.: Мысль, 1984. – С.97-103.

163 Kai Liu, Hu Ding, Guoan Tang, Chunqiao Song, Yiwen Liu, Ling Jiang, Bangyuan Zhao, Yunfei Gao, Ronghua Ma. Large-scale mapping of gully-affected areas: An approach integrating Google Earth images and terrain skeleton information // *Geomorphology*. Volume 314, 1 August 2018, Pages 13-26. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.04.011>.

164 Гафуров А.М., Веденеева Е.А., Ермолаев О.П., Усманов Б.М. Использование метода наземного лазерного сканирования для оценки интенсивности современных экзогенных процессов // Трешниковские чтения. Мат-лы VII Всерос. научно-практической конф. – Ульяновск, 2017. – С. 14-17.

- 165 Nicholas R. Goodwin, John D. Armston, Jasmine Muir, Issac Stiller. Monitoring gully change: A comparison of airborne and terrestrial laser scanning using a case study from Aratula, Queensland // *Geomorphology*. 2017. V 282. P. 195-208.
- 166 J Alfred Zinck, Jaime Lopez, Graciela I Metternicht, Dhruba P Shrestha, Lorenzo Vazquez-Selem. Mapping and modelling mass movements and gullies in mountainous areas using remote sensing and GIS techniques // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 3, Issue 1, 2001, Pages 43-53, [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(01\)85020-0](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(01)85020-0)
- 167 Amaury Frankl, Ann Zwertvaegher, Jean Poesen & Jan Nyssen (2013): Transferring Google Earth observations to GIS-software: example from gully erosion study, *International Journal of Digital Earth*, 6:2, 196-201. <http://dx.doi.org/10.1080/17538947.2012.744777>
- 168 J. McInnes, O.Vigiak, A.M. Roberts. Using Google Earth to map gully extent in the West Gippsland region (Victoria, Australia) // 19th International Congress on Modelling and Simulation, Perth, Australia, 12–16 December 2011 y. <http://mssanz.org.au/modsim2011>
- 169 Никольская И.И., Прохорова С.Д. Картографический метод исследования овражной эрозии // *Геоморфология*. – 2005. – №1. – С. 44-52.
- 170 Халыков Е.Е. Особенности картографирования развития овражной эрозии на примере оврагов долины реки Мукур // *Материалы Международной конференции Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий. ИнтерКарто/ИнтерГИС Петрозаводск (Россия), Бонн (Германия), Анкоридж (США) 19 июля – 1 августа 2018 г. Том 24 Часть 2*. С. 306-318. DOI: 10.24057/2414-9179-2018-2-24-306-318
171. Халыков Е.Е., Тоғыс М.М., Уксукбаева С.А., Шарапханова Ж.М. Исследование развития овражной эрозии в долине реки Мукур с применением ГИС-технологии // *Вопросы географии и геоэкологии*. – 2018. – №1. – С. 54-64.
- 172 Lin Z., Kaneda H., Mukoyama S., Asada N., Chiba T., 2013. Detection of subtle tectonicegeomorphic features in densely forested mountains by very high resolution airborne LiDAR survey. *Geomorphology* 182 (0), 104-115.
- 173 TingCao, AnchengXiao, LeiWua, LiguangMaoc, 2017. Automatic fracture detection based on Terrestrial Laser Scanning data: A new method and case study. *Computers & Geosciences*. Volume 106, September 2017, Pages 209-216.
- 174 Baruch A., Filin S., Detection of gullies in roughly textured terrain using airborne laser scanning data, *ISPRS // J. Photogrammetry and Remote Sensing*. 2011. V. 66. P. 564-578. URL: <http://www.elsevier.com/locate/isprsjprs>, (reference date: 27.04.2018).
- 175 Dirk Kuhn, Steffen Prufer. Coastal cliff monitoring and analysis of mass wasting processes with the application of terrestrial laser scanning: A case study of Rügen, Germany // *Geomorphology*. 2014. V. 213. P. 153-156.
- 176 Гафуров А.М. Оценка интенсивности и динамики почвенной эрозии методом наземного лазерного сканирования // *Эрозионные, русловые и устьевые процессы. Сборник статей по материалам XI семинара молодых ученых вузов, объединяемых Межвузовским научно-координационным советом по проблеме*

эрозионных, русловых и устьевых процессов. – Новгород: Мининский университет, 2016. – С. 81-90.

177 Atticus E.L. Stovalla, Jacob S. Diamondc, Robert A. Slesakd, Daniel L. McLaughlinc, Hank Shugart. 2019. Quantifying wetland microtopography with terrestrial laser scanning. *Remote Sensing of Environment* 232 (2019) 111271

178 L. Allan James, Darrell Glen Watson, William F. Hansen. Using LiDAR data to map gullies and headwater streams under forest canopy: South Carolina, USA. // *Catena* Volume 71, Issue 1, 1 September 2007, Pages 132-144. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.10.010>

179 Yingkui Li, John J. McNelis, Robert A. Washington-Allen. Quantifying Short-Term Erosion and Deposition in an Active Gully Using Terrestrial Laser Scanning: A Case Study From West Tennessee, USA // *Earth Sci.*, 28 October 2020. *Sec. Quaternary Science, Geomorphology and Paleoenvironment* Volume 8 - 2020 |<https://doi.org/10.3389/feart.2020.587999>

180 Халыков Е.Е., Лый Ю.Ф., Какимжанов Е.Х., Макимбаева М.М. Жыральқ эрозияның дамуын жерүсті лазерлік сканерлеу әдісімен зерттеу // *Гидрометеорология и экология*. – 2020. – №2. – С. 150-169.

181 <http://riegl.com/>

182 Благовещенский В.П. Снежные лавины Казахстана. – Алма-Ата, 1981. – 24 с.

183 Чрезвычайные ситуации природного характера и защита от них. – М.: Изд-во «ВЛАДОС-ПРЕСС», 2003. – 496 с.

184 Khalykov Yerkebulan, Lyy Yuisya, Sarybaev, Edil, Togys Maulen, Uksukbayeva Saule, Sharapkhanova Zhanerke. Study of conditions of gully formation in mountain regions of south-east Kazakhstan with use of gis-technologies. *Geodesy and Cartography (Vilnius)* 47(2). – P. 54-65. DOI:10.3846/gac.2021.12140

185 Любимов Б.П. Геоморфологические особенности овражной эрозии в аридной зоне / *Журнал Геоморфология*. №2. – Москва, 2002. – С. 18.

186 Amaury Frankl et al. (2018). The success of recent land management efforts to reduce soil erosion in northern France // *Geomorphology*, 303, (2018), pp. 84–93. doi:10.1016/j.geomorph.2017.11.018.

187 Obidimma C. Ezezika¹ and Olorunfemi Adetona. Resolving the gully erosion problem in Southeastern Nigeria: Innovation through public awareness and community-based approaches // *Journal of Soil Science and Environmental Management* Vol. 2(10), pp. 286-291, 25 October, 2011.

188 Richet, J., Ouvry, J. and Saunier, M. The role of vegetative barriers such as fascines and dense shrub hedges in catchment management to reduce runoff and erosion effects: Experimental evidence of efficiency, and conditions of use //, *Ecological Engineering*. Elsevier B.V., 103, (2017) pp. 455–469. doi: 10.1016/j.ecoleng.2016.08.008.

189 T.W. Yitbarek et al. The onsite cost of gully erosion and cost-benefit of gully rehabilitation: A case study in Ethiopia // *Land Degradation & Development*, Volume23, Issue2, March/April 2012, Pages 157-166, <https://doi.org/10.1002/ldr.1065>.

- 190 Тюкленкова Е.П., Акифьев И.В., Чурсин А.И. Рекультивация территорий овражно-балочной сети Пензенской области // Научный журнал: Успехи современного естествознания, Вып. № 12 (часть 1). – 2016.
- 191 Vibhash Ranjan et al. A review on dump slope stabilization by revegetation with reference to indigenous plant // Ranjan et al. Ecological Processes (2015) 4:14. DOI 10.1186/s13717-015-0041-1
- 192 Paramita Roy. et al. The role of indigenous plant species in controlling the erosion of top soil in sub-tropical environment: In-situ field observation and validation // Journal of Hydrology, Volume 625, Part A, October 2023, 129993 DOI:10.1016/j.jhydrol.2023.129993
- 193 Smith, J., et al. (2019). Indigenous Plant Species for Gully Erosion Control in Arid Regions. Journal of Soil and Water Conservation, 74(2), 120-135.
- 194 Akbar Farhadi et al. Assessment of the potential of semi-arid plants to reduce soil erosion in the Konartakhteh watershed, Iran // Arabian Journal of Geosciences, Volume 11, article number 518, (2018).
- 195 C.E. Ramser. Prevention of The Erosion of Farm Lands by Terracing // Environmental Geomorphology and Landscape Conservation, 1st Edition, (1973), Pages 15.
- 196 Fenli Zheng, Chi-hua Huang. "Gully Erosion" // Encyclopedia of Soil Science, 2st Edition, (2005), Pages 5.
- 197 Die Chen., Li-Ding Chen. Effects of terracing practices on water erosion control in China: A meta-analysis // Earth-Science Reviews 173, August 2017, DOI:10.1016/j.earscirev.2017.08.007.
- 198 Smith, J., & Williams, J. Terracing as a Sustainable Soil Conservation Practice: A Review // Journal of Soil and Water Conservation, (2008) 63(6), 116A-121A.
- 199 Renard, K., & Freimund, J. Using Terracing to Control Gully Erosion // Journal of Environmental Quality, (1994) 23(2), 252-259.
- 200 S. De Baets et al. Cover crops and their erosion-reducing effects during concentrated flow erosion // CATENA, Volume 85, Issue 3, June 2011, Pages 237-244. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.01.009>.
- 201 T.C. Kaspar et al., "Small grain cover crops and wheel traffic effects on infiltration, runoff, and erosion" // Journal of Soil and Water Conservation April 2001, 56 (2) 160-164.
- 202 C. Valentin et al. Gully erosion: Impacts, factors and control // CATENA, Volume 63, Issues 2–3, 31 October 2005, Pages 132-153. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.06.001>
- 203 Godwin Ezekwesili Ene, Celestine Obialo Okogbue. Construction and Performance of Geo-engineering Structures for Combating Gully Erosion in South-Eastern Nigeria // Engineering Geology for Society and Territory - Volume 2 pp 857–864, January 2015.
- 204 S. Galicia et al. Green', rammed earth check dams: A proposal to restore gullies under low rainfall erosivity and runoff conditions // Science of The Total Environment, Volume 676, 1 August 2019, Pages 584-594. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.189>.

205 Xu Xiang-zhou et al. Development of check-dam systems in gullies on the Loess Plateau, China // Environmental Science & Policy, Volume 7, Issue 2, April 2004, Pages 79-86. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2003.12.002>.

206 Xiaobing Liu et al. Gully Erosion Control Practices in Northeast China: A Review // Sustainability 2019, 11, 5065; www.mdpi.com/2071-1050/11/18/5065. <https://doi.org/10.3390/su11185065>

207 Мясоедов С.С. Борьба с оврагами. – М.: Россельхозиздат, 1984. – 87 с.

208 Alvarez-Mozos et al. Evaluation of erosion control geotextiles on steep slopes. Part 2: Influence on the establishment and growth of vegetation // Catena Volume 121, October 2014, Pages 195-203. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.05.015>

209 Deivaseeno Dorairaj, Normaniza Osman. Present practices and emerging opportunities in bioengineering for slope stabilization in Malaysia: An overview // PeerJ Publishing. Environmental Science. January 12, 2021.

210 S. Vishnudas et al. The protective and attractive covering of a vegetated embankment using coir geotextiles // Hydrology and Earth System Sciences. Volume 10, issue 4. <https://doi.org/10.5194/hess-10-565-2006>

211 R. Bhattacharyya et al. Effectiveness of geotextiles in reducing runoff and soil loss: A synthesis // Catena, volume 81, Issue 3, 15 June 2010, Pages 184-195. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.03.003>

212 Jesus Alvarez-Mozos et al. Evaluation of erosion control geotextiles on steep slopes. Part 1: Effects on runoff and soil loss // Catena, volume 118, July 2014, Pages 168-178, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.05.018>

213 A. J. T. Guerra et al. The effects of biological geotextiles on gully stabilization in São Luís, Brazil // Natural Hazards, Volume 75, pages 2625–2636, October 2014.

214 Sutherland, R.A. et al. Geotextile effectiveness in reducing interrill runoff and sediment flux // International Erosion Control Association Proceedings of Conference XXVI, 1995, Atlanta, USA, pp. 359–370.

215 Langford, R.L., Coleman, M.J. Biodegradable erosion control blankets prove effective on Iowa wildlife refuge // XXVII Int. Erosion Control Assoc. Proceedings of Conf., Seattle, USA, pp. 13–20, 1996.

216 Сельскохозяйственный энциклопедический словарь / Ред. кол.: В.К. Месяц (гл. ред.) и др. – М.: Сов. энцикл., 1989. – 655 с.

217 Быков Б.А. Доминанты растительного покрова Советского союза. Том 3. – Алма-Ата, 1965. – 424 с.

218 Знаменская А. Взаимосвязь между стадиями и процессами зарастания склонов оврагов // Науч. тр. МЛТИ. – Вып. 99. – М., 1977. – С. 55–58.

219 Земельный кодекс Республики Казахстан на 01.01.2024 г.

220 Экологический кодекс Республики Казахстан от 2 января 2021 года № 400-VI ЗРК.

221 Водный кодекс РК на 01.05.2023 г.

222 Закон Республики Казахстан о пастбищах на 01.05.2023 г.

223 Закон РК «Об особо охраняемых природных территориях». <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z970000162>

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А – Классификация оврагов северных склонов Иле Алатау (по Ульману А.А., 1996)

Класс	Тип	Подтип
Растущие овраги	Овраги, имеющие прирост вершинной части	Преимущественно за счет флювиальных процессов
	Овраги, имеющие увеличение глубинной части	За счет флювиальных процессов
		За счет суффозионных процессов – пайпинг
	Овраги, имеющие увеличение количества и длины боковых отвершков	Преимущественно за счет флювиальных процессов
Зарастающие овраги		За счет пролювиальной аккумуляции
		За счет делювиально-коллювиальной аккумуляции

ПРИЛОЖЕНИЕ Б



а)



б)

Рисунок Б.1 – Морфологические типы оврагов, грушевидные овраги: а) грушевидный овраг на левом склоне долины реки Улкен Алматы (напротив аэропорта Боролдай),
б) фрагмент космического снимка из ресурса Google Earth



а)



б)

Рисунок Б.2 – Морфологические типы оврагов, грушевидные овраги: а) вершина грушевидного оврага на левом склоне долины реки Улкен Алматы (напротив аэропорта Боролдай), б) суффозионный колодец рядом с оврагом

ПРИЛОЖЕНИЕ В

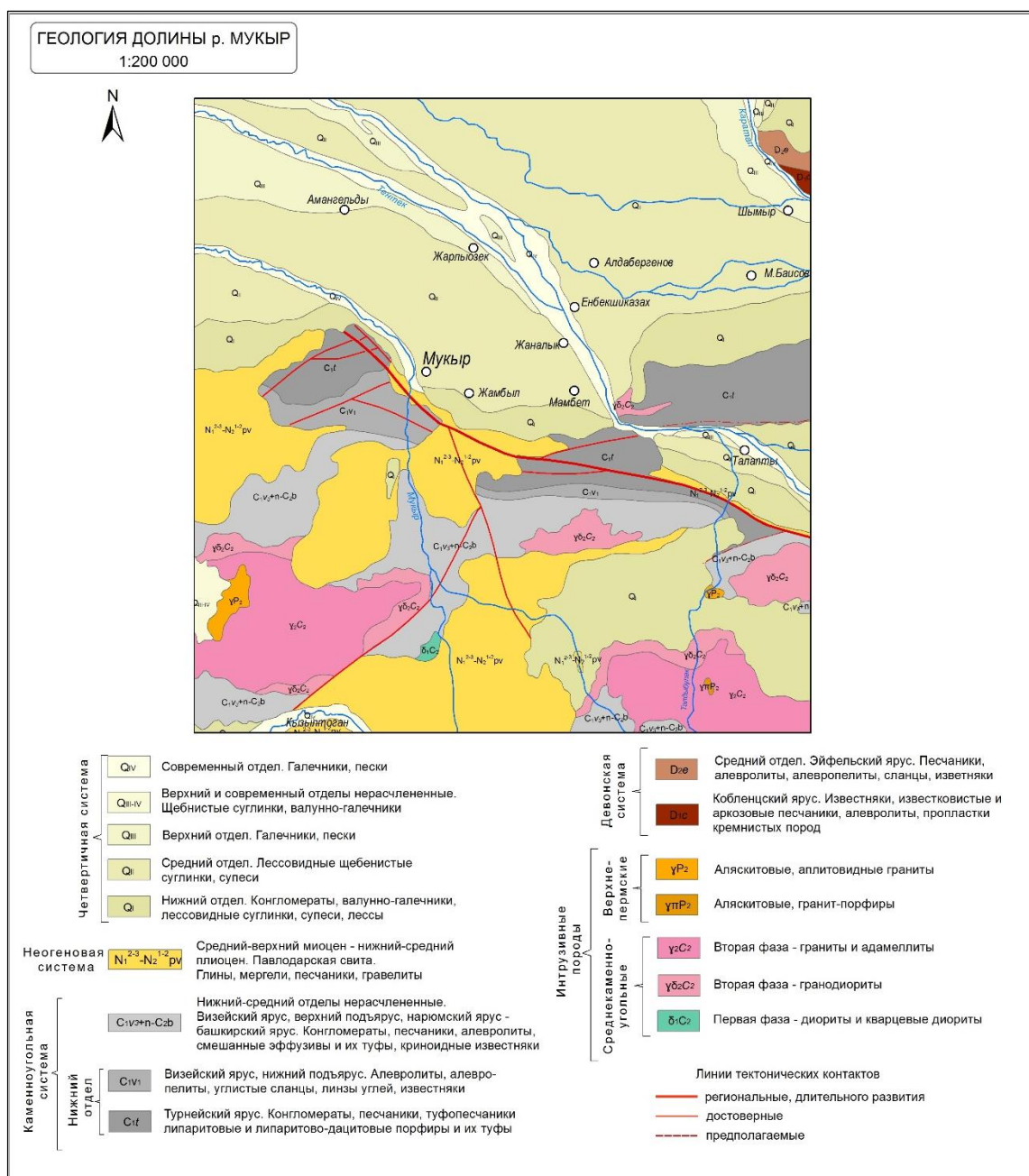


Рисунок В.1 – Геологическая карта долин рек Тентек и Мукур

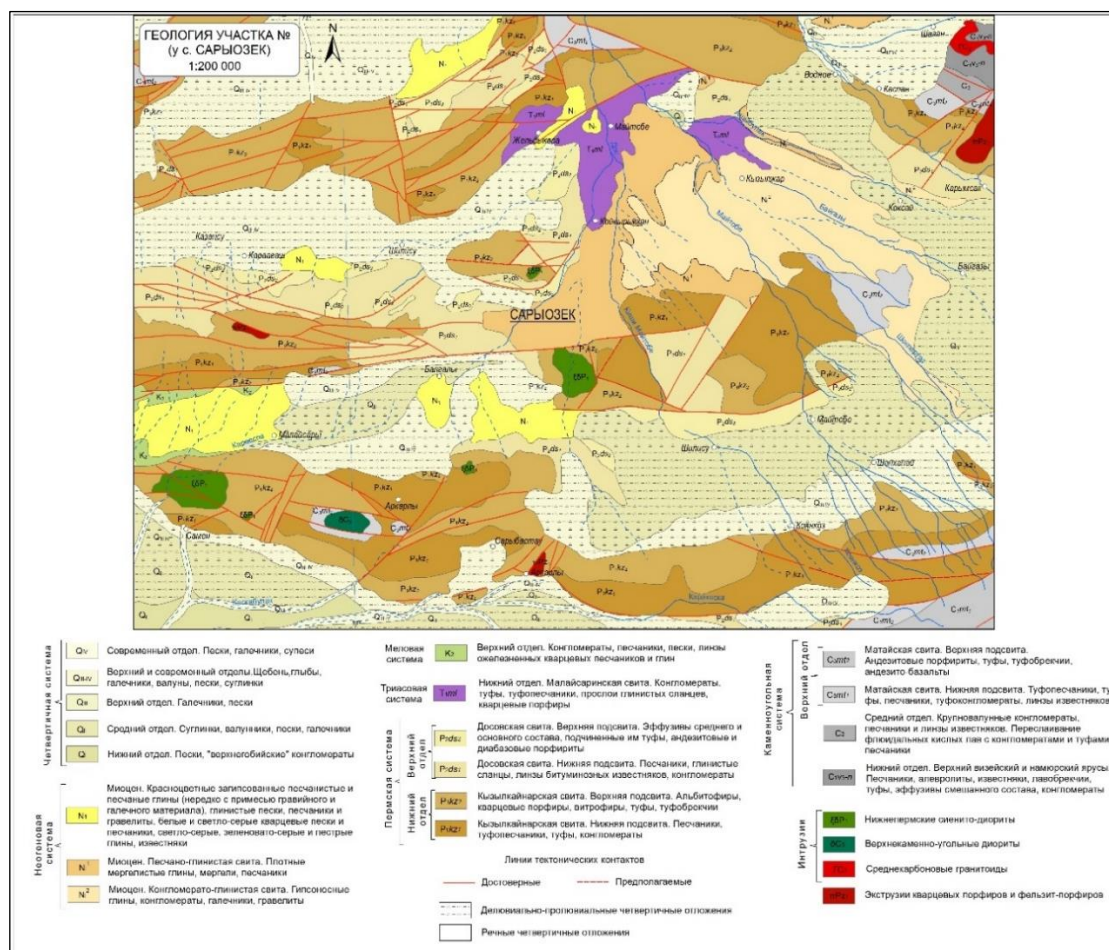


Рисунок В.2 – Геологическая карта участка №2

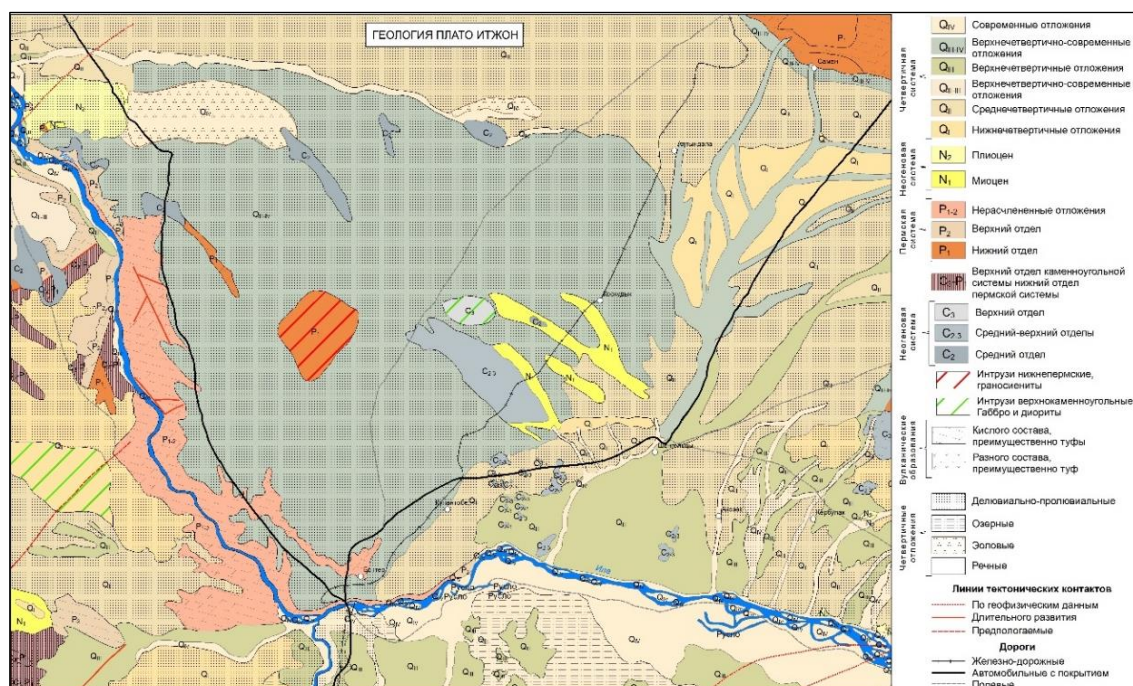


Рисунок В.3 – Геологическая карта плато Итжон

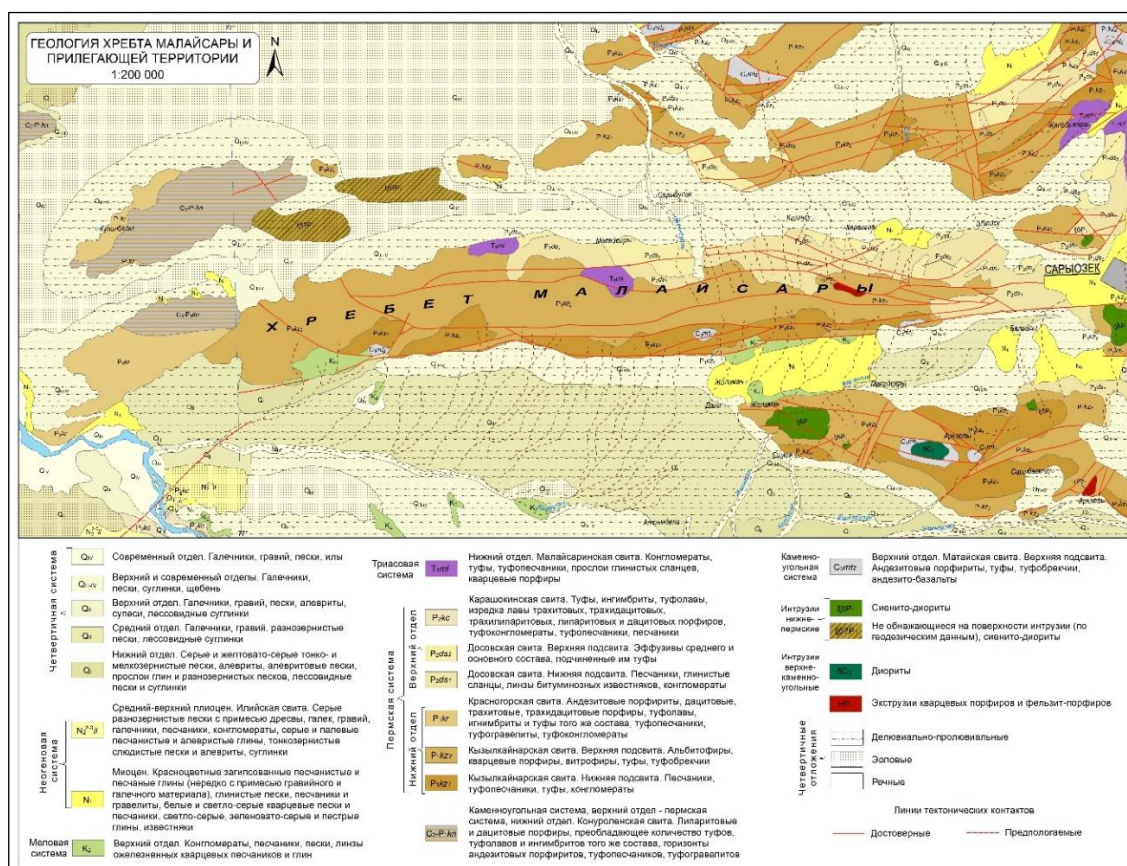


Рисунок В.4 – Геологическая карта хребта Малайсары и прилегающей территорий

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

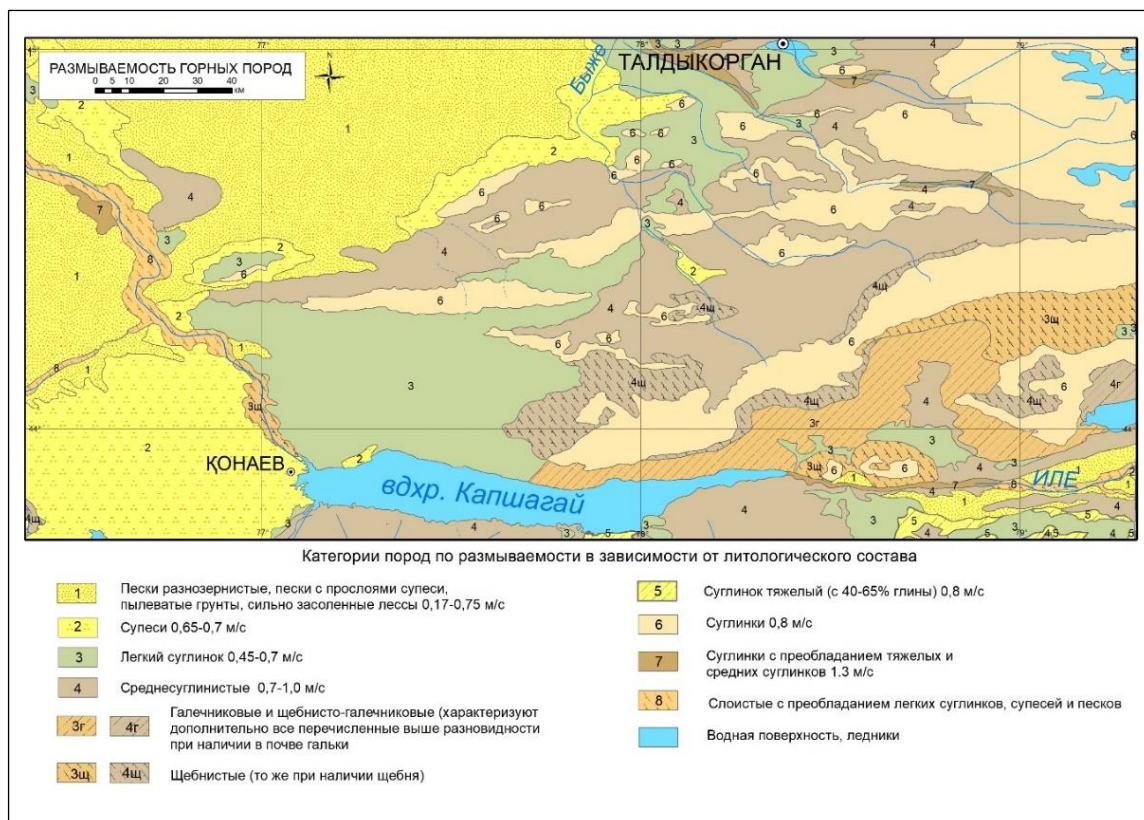


Рисунок Г – Размываемость горных пород в западной части Жетысу Алатау

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

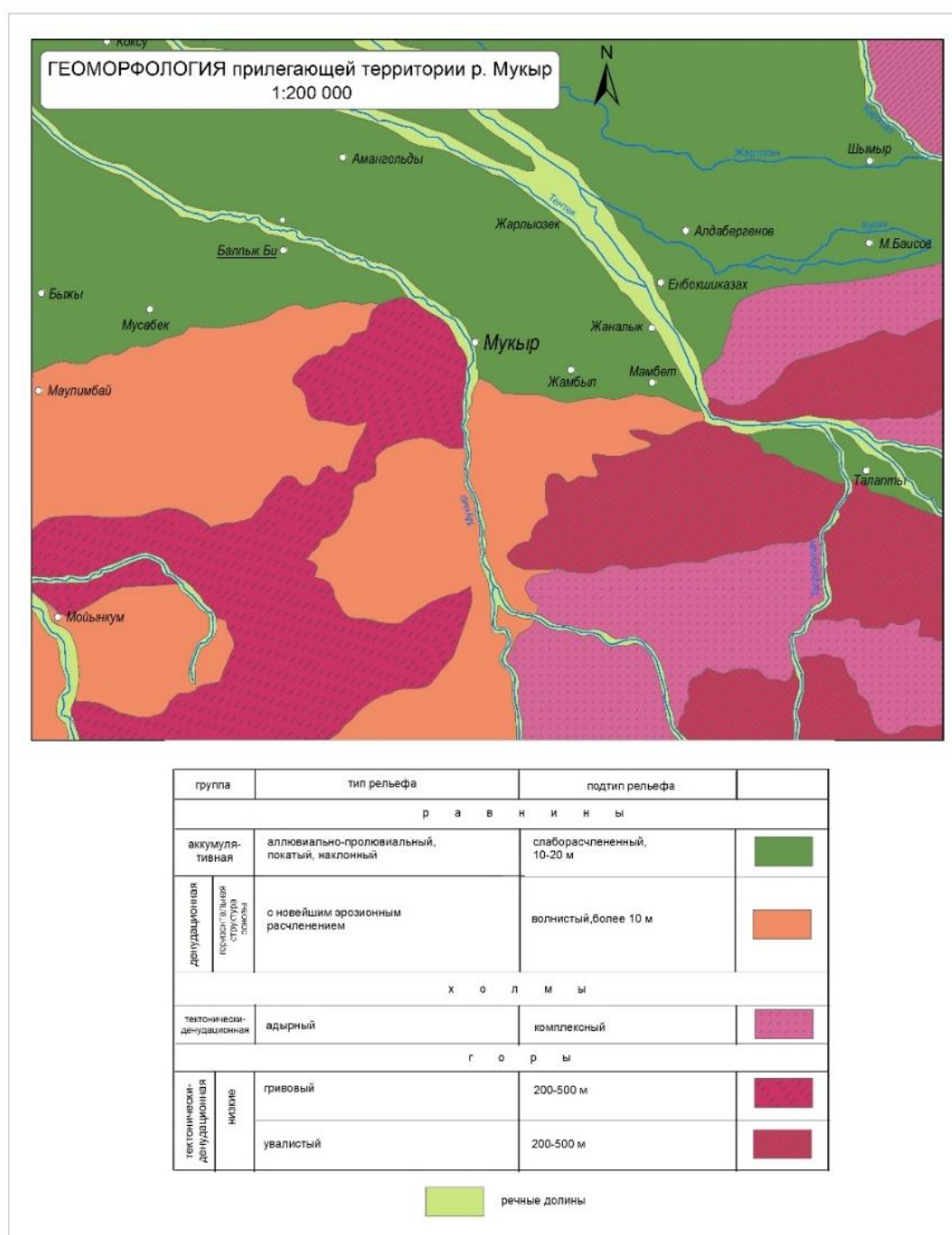


Рисунок Д.1– Геоморфология прилегающей территории р. Мукыр

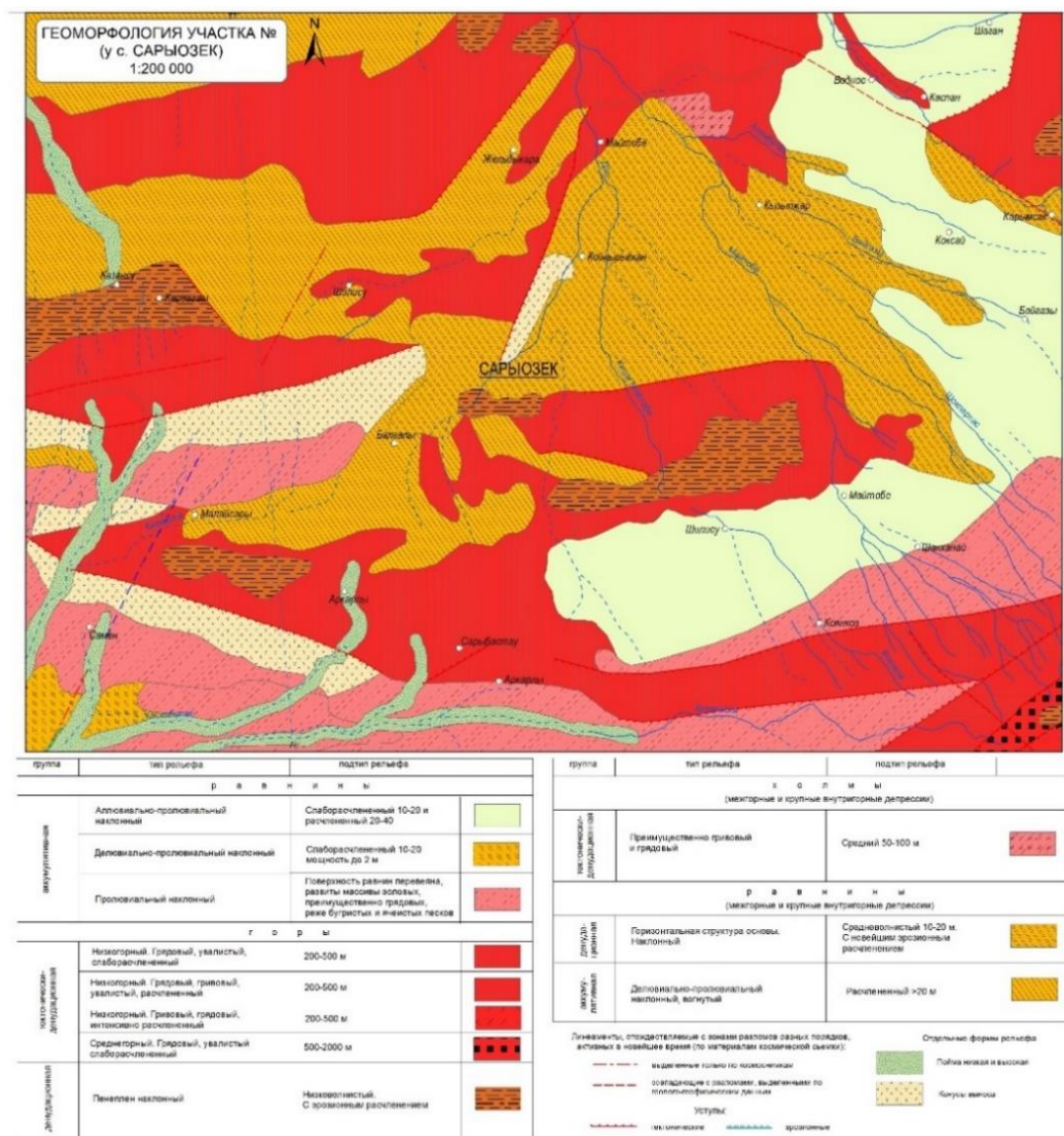


Рисунок Д.2 – Геоморфология мониторингового участка №2 у с. Сарыозек

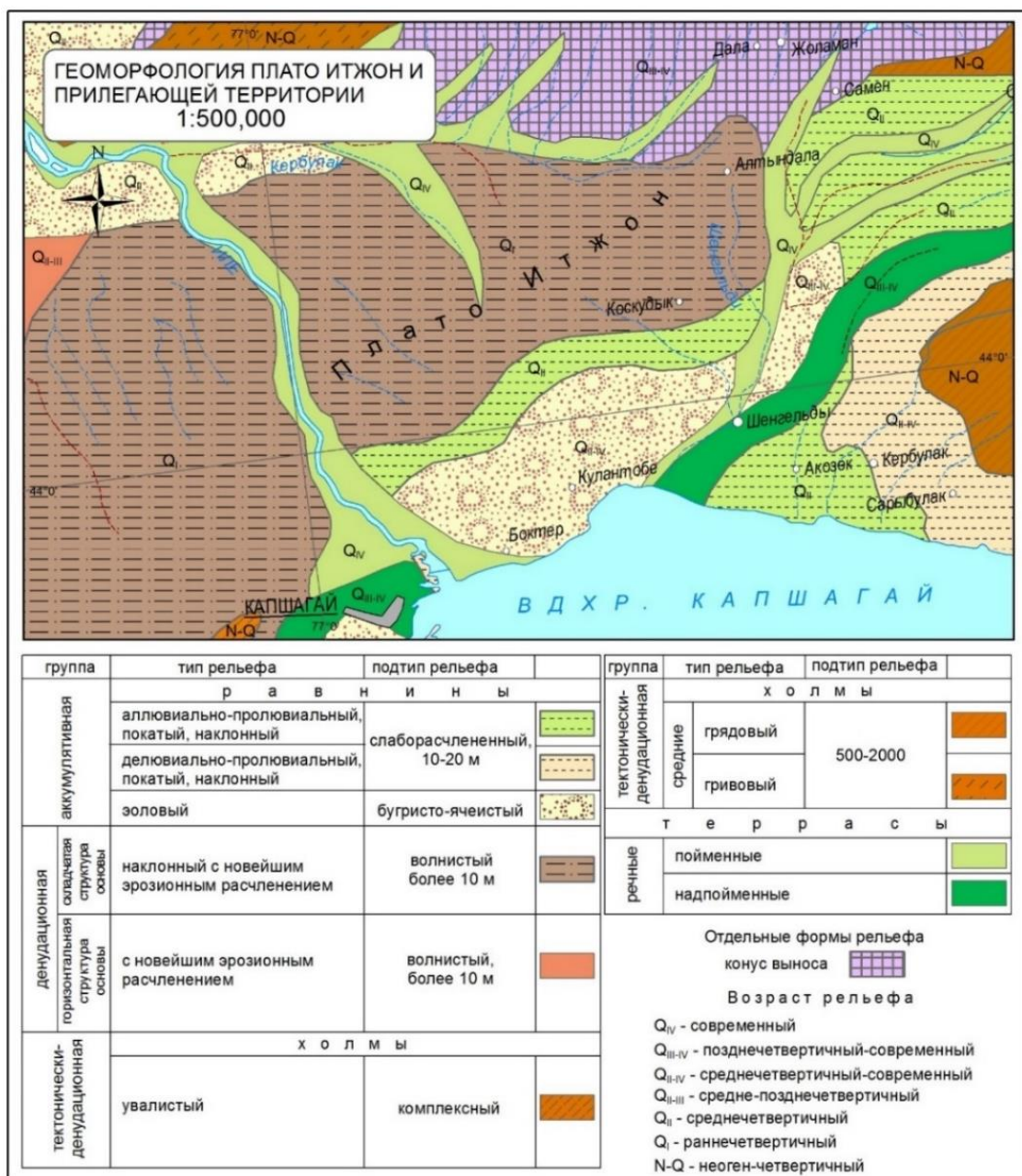


Рисунок Д.3 – Геоморфология плато Итжон и прилегающей территории

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

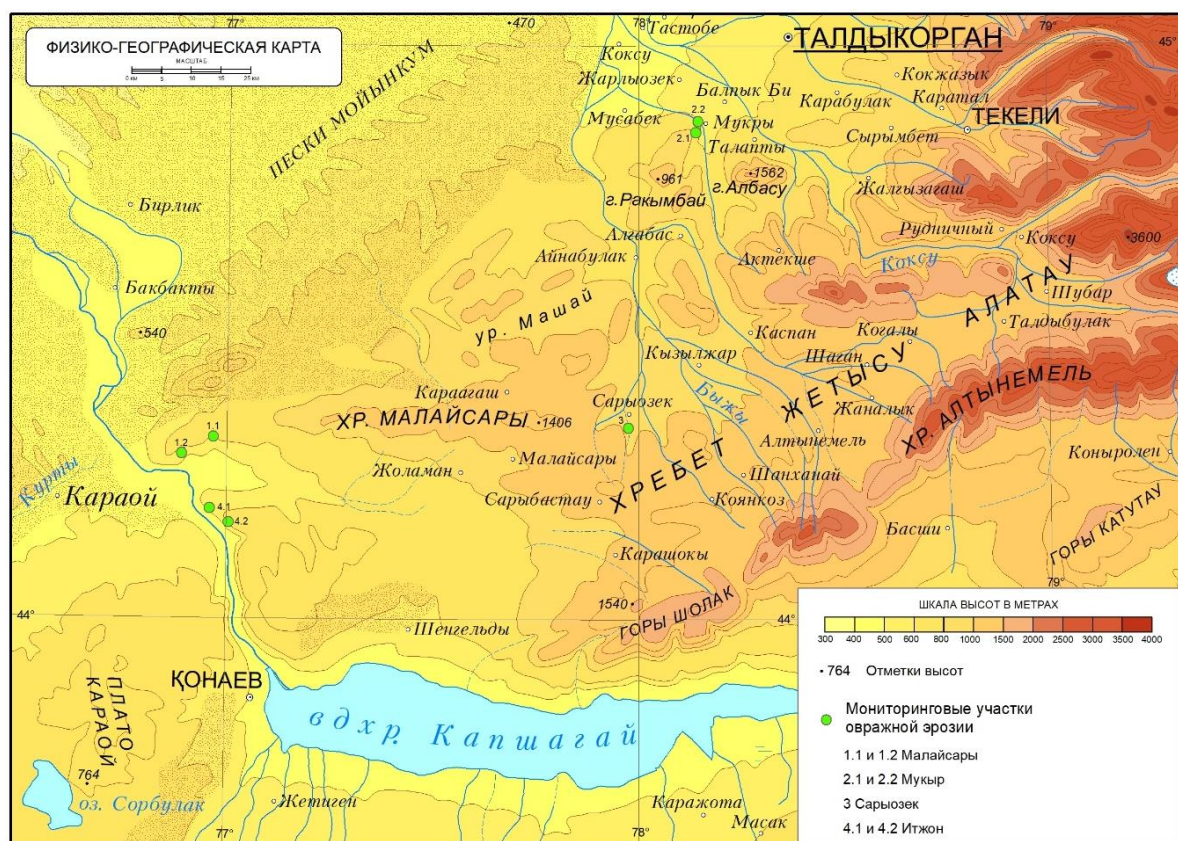


Рисунок Е – Физико-географическая карта западной части Жетысу Алатау

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

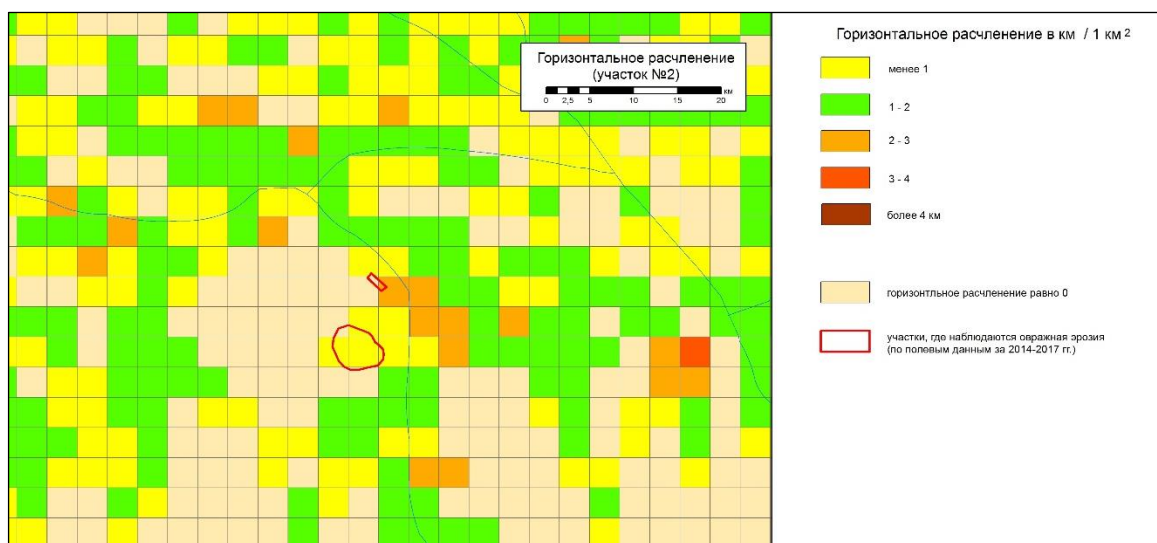


Рисунок Ж.1 – Горизонтальное расчленение в долине р. Мукур

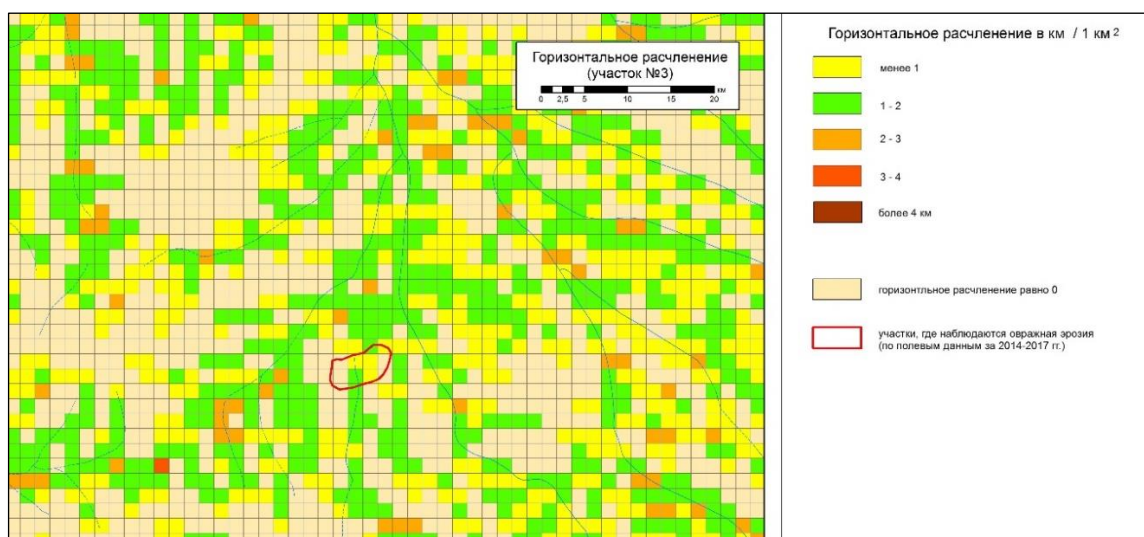


Рисунок Ж.2 – Горизонтальное расчленение участка №2

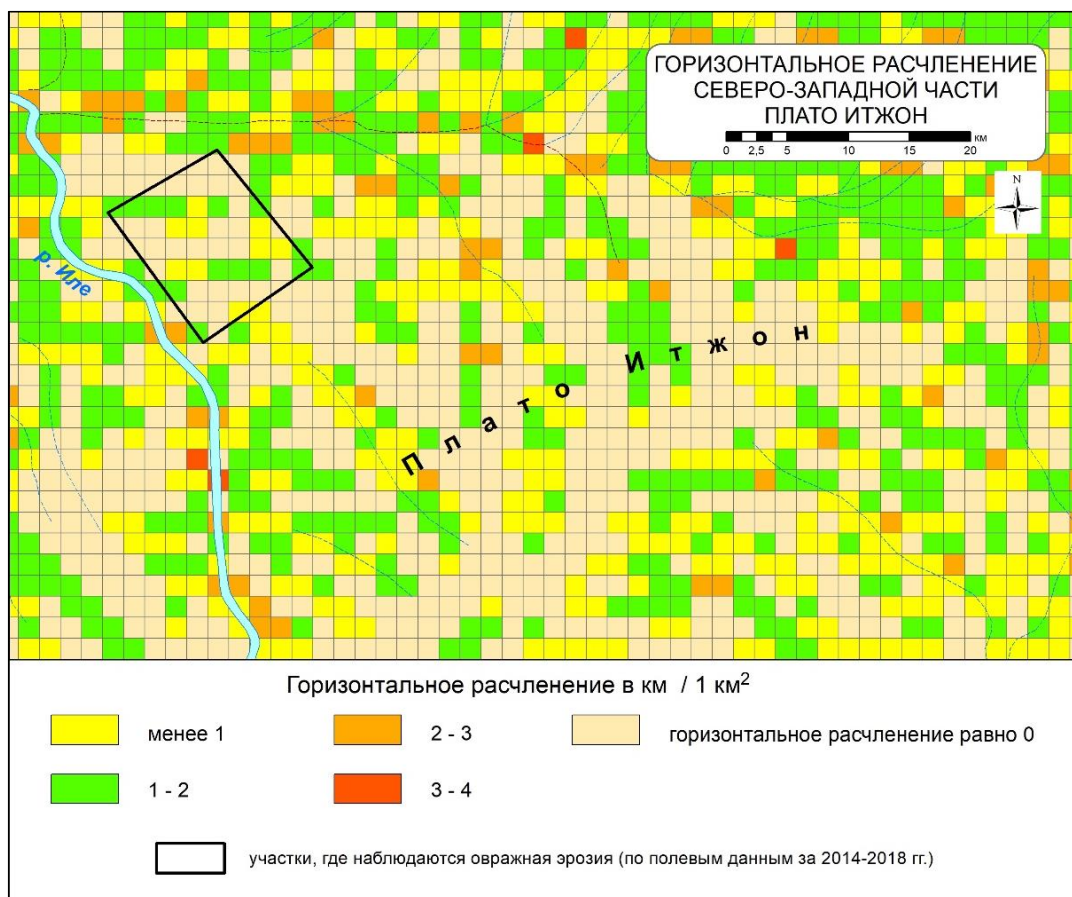


Рисунок Ж.3 – Горизонтальное расчленение участка №3
(плато Итжон)

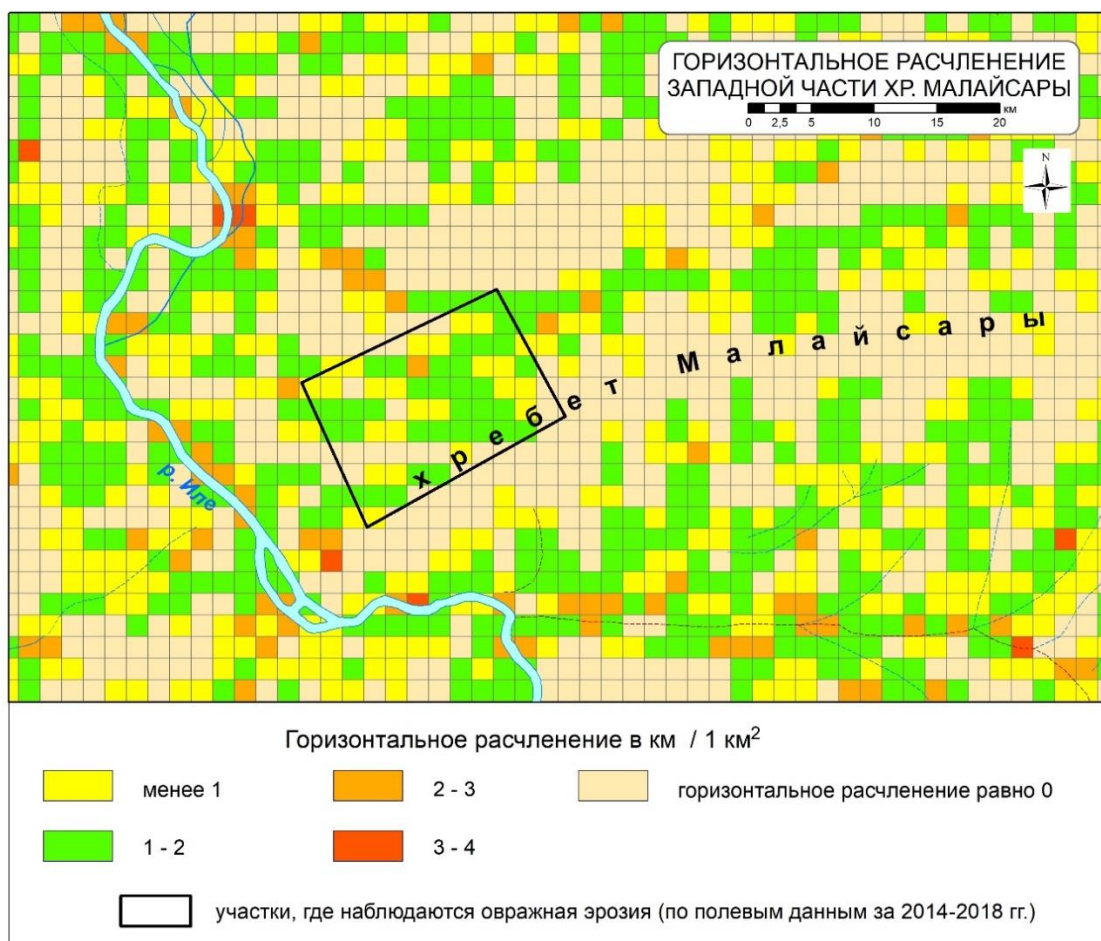


Рисунок Ж.4 – Горизонтальное расчленение на западной части хребта Малайсары

ПРИЛОЖЕНИЕ И

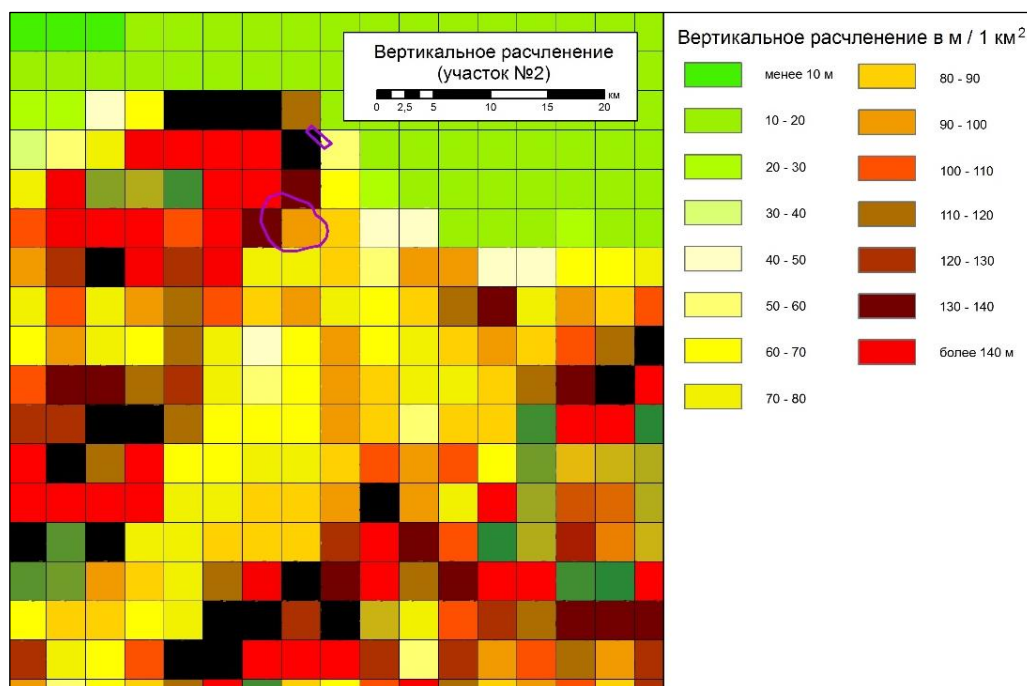


Рисунок И.1 – Вертикальное расчленение в долине р. Мукур

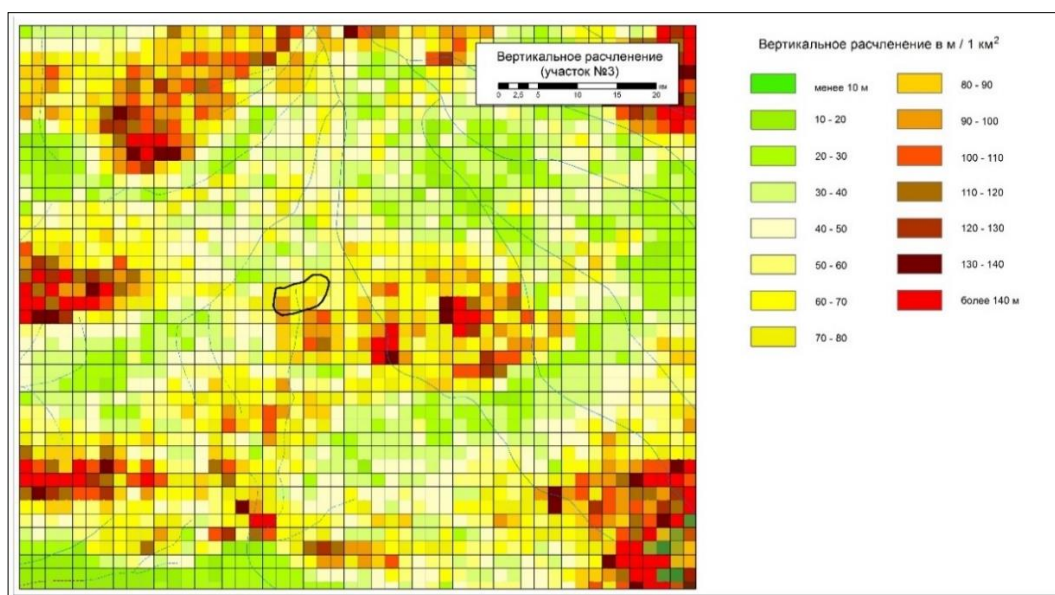


Рисунок И.2 – Вертикальное расчленение участка №2

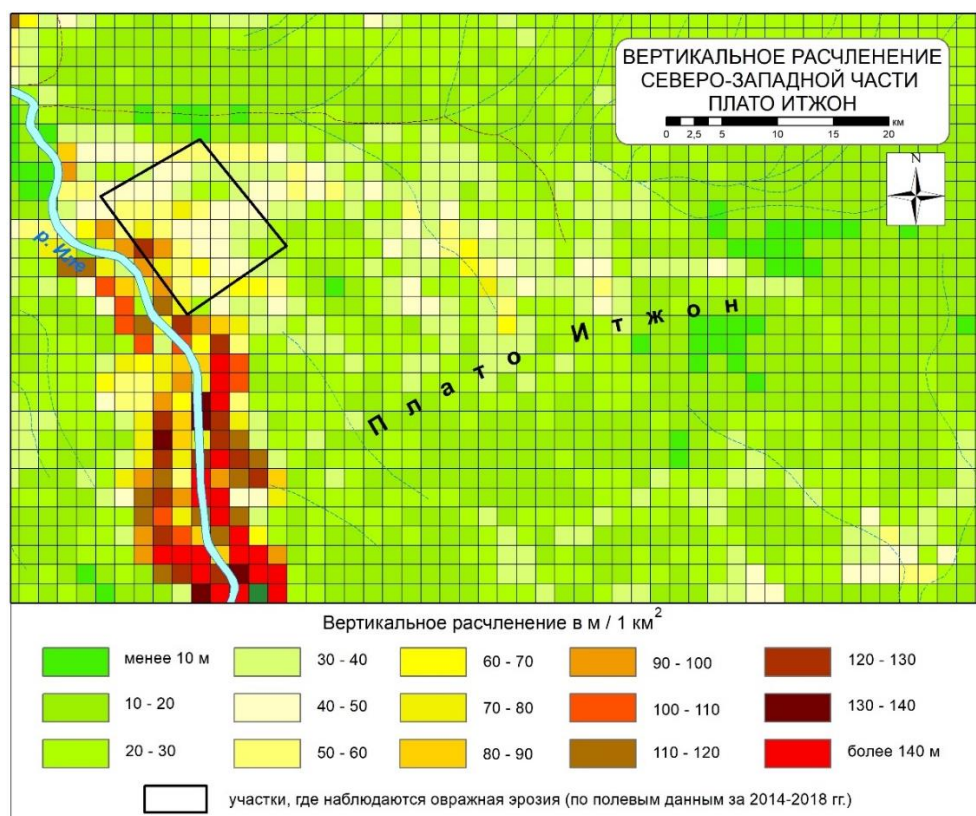


Рисунок И.3 – Вертикальное расчленение участка №3 (плато Итжон)

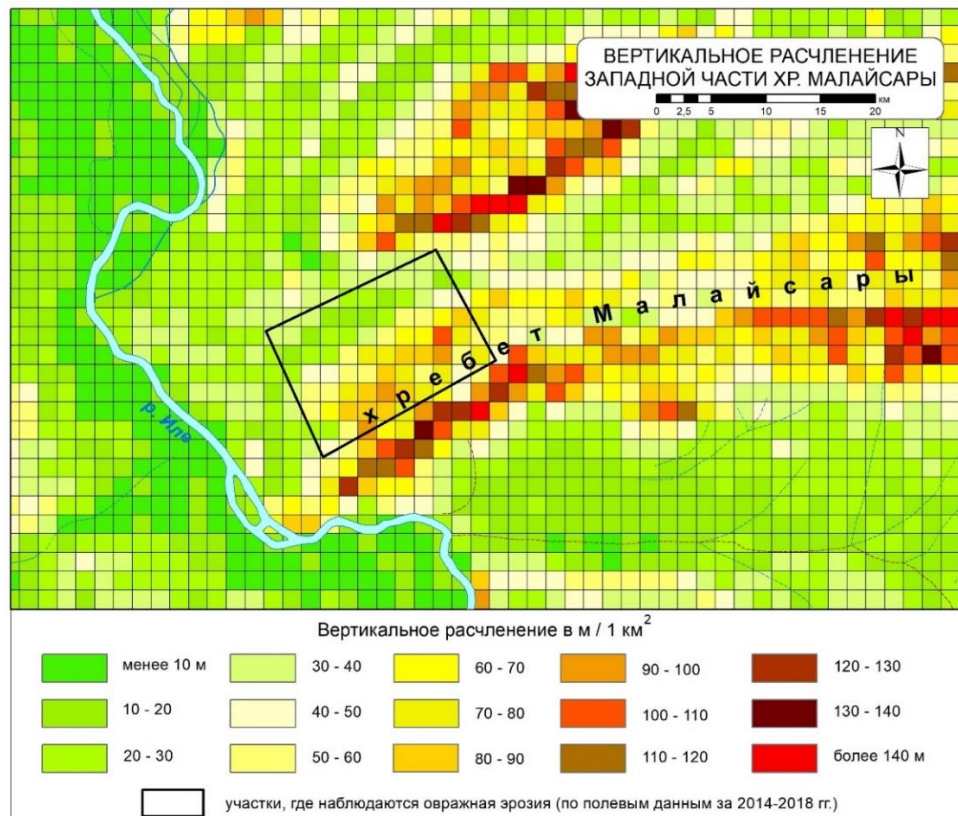


Рисунок И.4 – Вертикальное расчленение на западной части хребта Малайсары

ПРИЛОЖЕНИЕ К

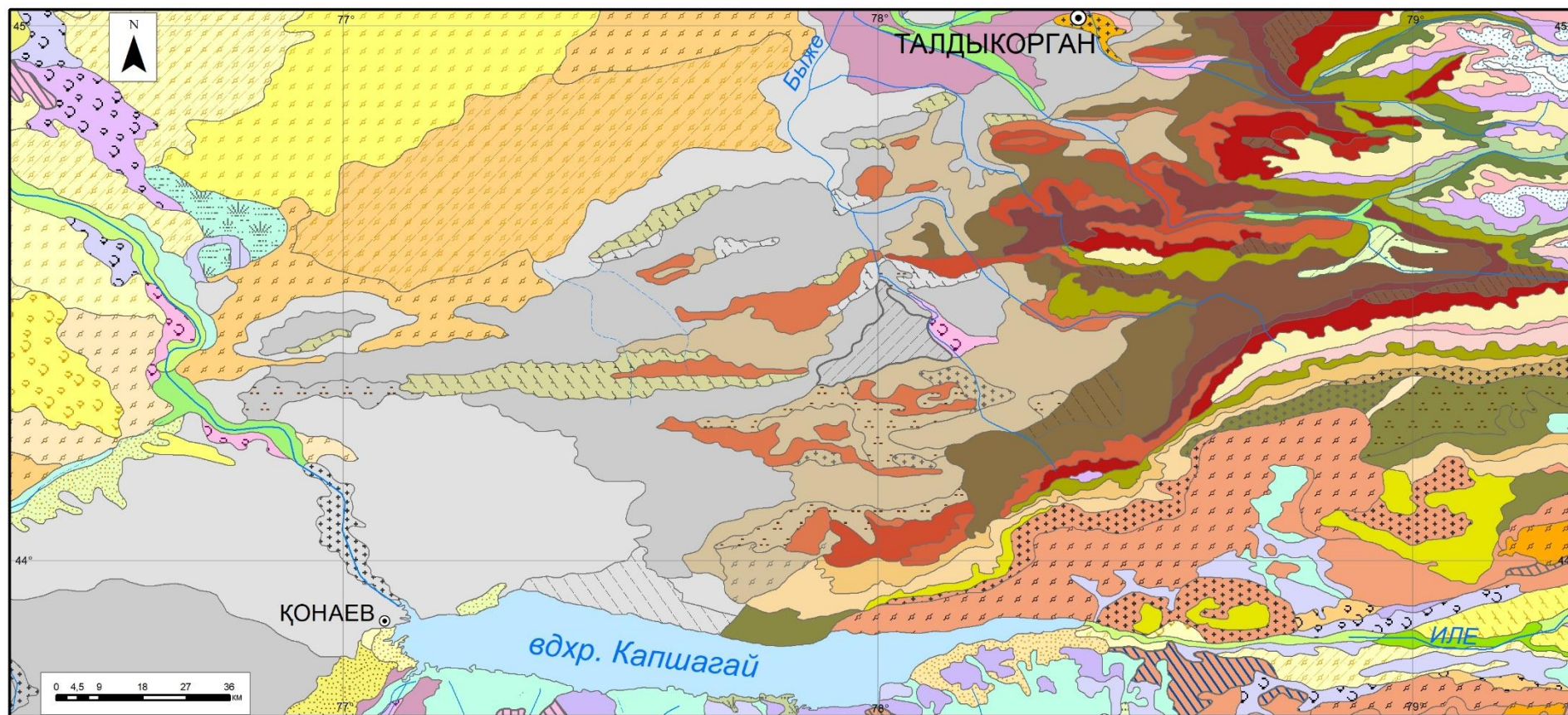


Рисунок К.1 – Почвы западной части Жетысу Алатау

	Бурые пустынные ксероморфные		Горные серо-каштановые		Луговые карбонатные незасоленные
	Бурые пустынные малоразвитые на щебнистом элювии и элювио-делювии плотных пород		Горные сероземы обыкновенные северные		Пойменные лугово-тугайные засоленные
	Бурые пустынные нормальные		Горные сероземы светлые северные		Пойменные луговые засоленные
	Высокогорные лугово-степные		Горные темно-каштановые		Пойменные луговые незасоленные
	Высокогорные степные		Горные черноземы выщелоченные		Пойменные луговые обсыхающие
	Выходы неогеновых и палеогеновых глин и суглинков		Горные черноземы глубокооподзоленные		Рисовищные периодически затопляемые
	Галечники		Горные черноземы степные (обыкновенные и южные)		Светло-каштановые ксероморфные
	Горно-лесные темно-серые		Лугово-болотные засоленные		Светло-каштановые малоразвитые на щебнистом элювии и элювио-делювии плотных пород
	Горно-лесные темноцветные		Лугово-болотные незасоленные		Серо-бурые пустынные гипсоносные
	Горно-лесные черноземовидные		Лугово-бурые незасоленные		Серо-бурые пустынные засоленные
	Горно-луговые альпийские дерновые		Лугово-каштановые и лугово-серо-каштановые		Серо-бурые пустынные малоразвитые на галечниковом и щебнисто-галечниковом аллювии и пролювии
	Горно-луговые субальпийские дерновые		Лугово-сероземные незасоленные		Серо-бурые пустынные малоразвитые на щебнистом элювии и элювио-делювии плотных пород
	Горно-степные термоксероморфные		Лугово-сероземные солончаковатые и солонцевато-солончаковатые		Серо-бурые пустынные незасоленные
	Горные бурые пустынные		Лугово-сероземные солончаковые		Серо-бурые пустынные примитивные
	Горные лугово-степные		Лугово-черноземные		Серо-каштановые карбонатные нормальные
	Горные светло-каштановые		Луговые выщелоченные и обычные		Серо-каштановые ксероморфные
	Горные серо-бурые пустынные		Луговые засоленные		Серо-каштановые малоразвитые на галечниковом и

					щебнисто-галечниковом аллювии и пролювии
	Серо-каштановые малоразвитые на щебнистом элювии и элювио-делювии плотных пород		Такыровидные незасоленные		Пески пустынные слабогумусированные карбонатные закрепленные бугристые
	Сероземы обыкновенные северные нормальные		Такыровидные солончаковатые		Пески пустынные слабогумусированные карбонатные закрепленные грядово-бугристые
	Сероземы обыкновенные северные гипсоносные		Такыровидные солончаковые		Пески пустынные слабогумусированные карбонатные закрепленные равнинные
	Сероземы обыкновенные северные ксероморфные		Темно-каштановые ксероморфные		Пески сероземные бугристые с признаками гумусированности карбонатные слабозакрепленные бугристые
	Сероземы обыкновенные северные малоразвитые на щебнистом элювии и элювио-делювии плотных пород		Темно-каштановые нормальные и карбонатные		Пески сероземные бугристые с признаками гумусированности карбонатные слабозакрепленные грядово-бугристые
	Сероземы светлые северные малоразвитые на щебнистом элювии и элювио-делювии плотных пород		Черноземы выщелоченные нормальные		Пески сероземные бугристые с признаками гумусированности карбонатные слабозакрепленные равнинные
	Сероземы светлые северные нормальные		Черноземы обыкновенные нормальные		Пески сероземные слабогумусированные карбонатные закрепленные крупно-грядовые
	Сероземы светлые северные орошаемые		Черноземы южные нормальные и карбонатные		Пески сероземные слабогумусированные карбонатные закрепленные бугристые
	Скалы, осыпи, снежники (нивальнo-скальный субледниковый пояс, лишенный почвенного покрова)		Пески лугово-пустынные слабогумусированные карбонатные закрепленные бугристые		Пески сероземные слабогумусированные карбонатные закрепленные грядово-бугристые
	Солонцы гидроморфные солончаковые		Пески лугово-сероземные слабогумусированные карбонатные закрепленные равнинные		Пески сероземные слабогумусированные карбонатные закрепленные равнинные
	Солончаки вторичные		Пески перевейные безгумусные		

			незакрепленные барханные разных зон		
	Солончаки луговые		Пески пустынные с признаками гумусированности карбонатные слабозакрепленные бугристые		
	Солончаки обыкновенные		Пески пустынные с признаками гумусированности карбонатные слабозакрепленные грядово-бугристые		

Таблица К.1 – Легенда карты «Почвы западной части Жетысу Алатау»

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

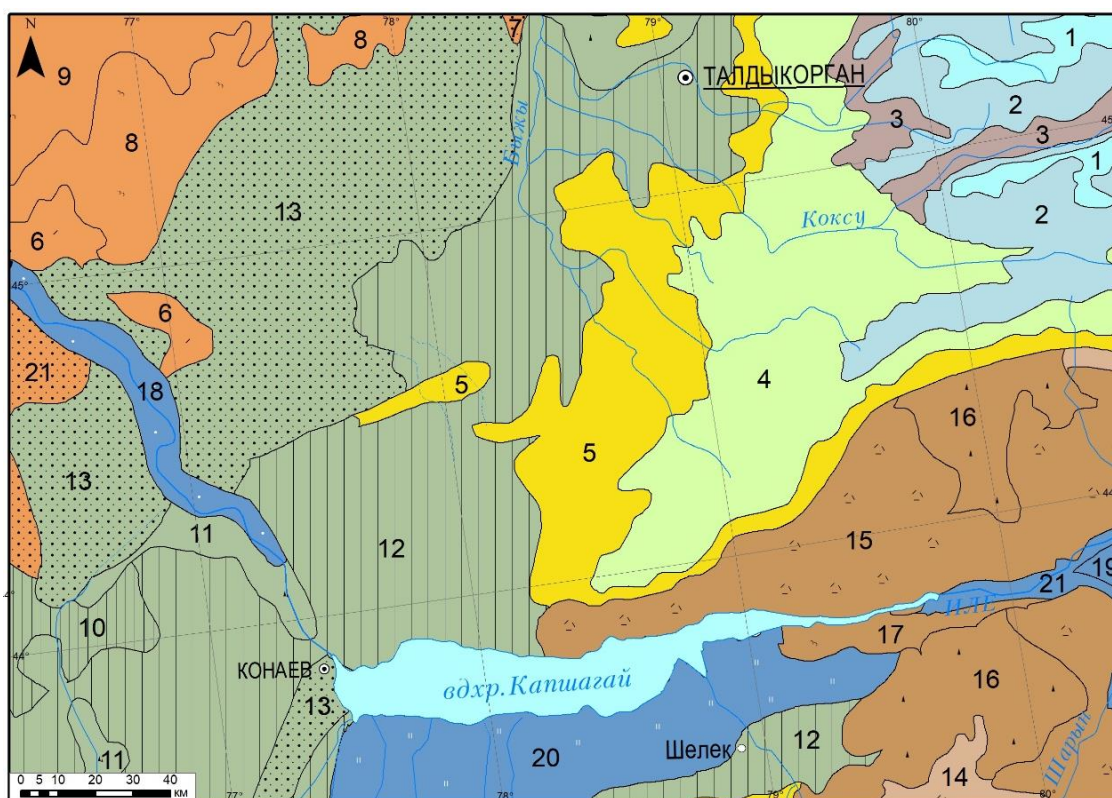


Рисунок Л.1 – Растительность западной части Жетысу Алатау

	СУБНИВАЛЬНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ
1 	Несомкнутые группировки криопетрофитов и поселения единичных растений (<i>Carex griffithii</i> , <i>Lloydia serotina</i> , <i>Chorispora macropoda</i> , <i>Astragalus nivalis</i> , <i>Oxytropis platonychia</i> , <i>Saussurea glacialis</i>)
	КРИОФИТНЫЕ ЛУГА высокогорные
2 	Кобрезники и среднетравные субальпинотипные луга: Кобрезники в сочетании с криофитными подушечниками (<i>Kobresia capilliformis</i> , <i>K.humilis</i> , <i>Carex stenocarpa</i> , <i>Festuca kryloviana</i> , <i>Potentilla gelida</i> , <i>Allium astrosanguineum</i> , <i>Thalictrum alpinum</i> , <i>Alchemilla retropilosa</i> , <i>Leontopodium fedtschenkoanum</i>), субальпинотипные манжетковые (<i>Alchemilla retropilosa</i> , <i>A.sibirica</i> , <i>Hedysarum neglectum</i> , <i>Trollius dshungaricus</i> , <i>Iris ruthenica</i>) луга, заросли стланиковой арчи (<i>Juniperus pseudosabina</i>) и еловые (<i>Picea schrenkiana</i>) редколесья
	ЛЕСА горные
3 	Еловые леса и редколесья: стланиково-еловые (<i>Picea schrenkiana</i> , <i>Juniperus pseudosabina</i> <i>J.sibirica</i> с <i>Caragana jubata</i>) – в Териской Алатау, еловые (с <i>Abies sibirica</i>) – в Жетысуском Алатау леса и редколесья, с подлеском из <i>Sorbus tianschanica</i> , <i>Salix iliensis</i> , <i>Rosa alberti</i> , <i>Lonicera altmannii</i> ; травяные и моховые сообщества; лиственнично-еловые (<i>Acer semenovii</i> , <i>Populus tremula</i>) леса и редколесья
	СТЕПИ горные <i>Разнотравно-ковыльные и сухие типчаково-ковыльные</i>
4 	Разнотравно-дерновинно-злаковые и дерновинно-злаковые с кустарниками в сочетании с кустарниковыми зарослями: Разнотравно-дерновинно-злаковые (<i>Stipa zalesskii</i> , <i>S.kirghisorum</i> , <i>Helictotrichon pubescens</i> , <i>H.desertorum</i> , <i>Stachys officinalis</i> , <i>Phlomis pratensis</i> , <i>Medicago falcata</i> , <i>Origanum vulgare</i> , <i>Iris brevifolia</i>) и дерновинно-злаковые (<i>Festuca valesiaca</i> , <i>Stipa capillata</i> , <i>S.lessingiana</i> , <i>Bothriochloa ischaemum</i> , <i>Ajania fastigiata</i>) в сочетании с розариями (<i>Rosa platyacantha</i> , <i>R.pimpinellifolia</i> , <i>Cotoneaster multiflorus</i> , <i>C.melanocarpus</i> , <i>Spiraea lasiocarpa</i> – в Териской Алатау) и с караганниками (<i>Caragana pleiophylla</i> , <i>C.pruinosa</i>)
	<i>Сухие типчаково-ковыльные и полынно-ковыльные</i>
5 	Эфемероидно-дерновинно-злаковые и эфемероидно-полынно-дерновинно-злаковые: Эфемероидно-полынно-ковыльные (<i>Stipa sareptana</i> , <i>S.lessingiana</i> , <i>S.caucasica</i> , <i>Festuca valesiaca</i> , виды <i>Artemisia</i> , <i>Kochia prostrata</i> , <i>Poa bulbosa</i>) с участием кустарников (<i>Spiraea hypericifolia</i> , <i>Cerasus tianschanica</i> , виды <i>Atraphaxis</i> , <i>Rosa</i>) Типчаково-ковыльные (<i>Stipa capillata</i> , <i>Stipa zalesskii</i> , <i>Festuca valesiaca</i>), петрофитноразнотравно-овсяные (<i>Helictotrichon desertorum</i> , <i>Artemisia frigida</i> , <i>Patrinia intermedia</i> , <i>Potentilla acaulis</i> , <i>Onosma simplicissima</i> , <i>Hedysarum gmelinii</i>) и кыргызскоковыльные (<i>Stipa kirghisorum</i>) с кустарниками (<i>Caragana frutex</i> , <i>C.pumila</i>) Маршалловополынно-тырсовые, кустарниково-маршалловополынно-типчаковые (<i>Festuca valesiaca</i> , <i>Stipa capillata</i> , <i>S.pennata</i> , <i>Artemisia marschalliana</i> , <i>Spiraea hypericifolia</i> , <i>Lonicera microphylla</i>)
	ПУСТЫНИ равнинные <i>Средние</i>

6 	Многолетнесолянково-белоземельнополынные (<i>Artemisia terrae-albae</i> , <i>Salsola orientalis</i> , <i>Anabasis aphylla</i>)
7 	Псаммофитнокустарниковые (<i>Calligonum aphyllum</i> , <i>C.leucocladum</i> , <i>Ammodendron bifolium</i> , <i>Krasheninnikovia ceratoides</i> , <i>Salsola arbuscula</i> , <i>Atraphaxis replicata</i> , <i>Carex physodes</i>)
8 	Смешанносаксауловые (<i>Haloxylon aphyllum</i> , <i>H.persicum</i> , <i>Artemisia terrae-albae</i> , <i>Astragalus ammodendron</i> , <i>Atraphaxis 173eplicate</i> , <i>Artemisia santolina</i> , <i>Carex physodes</i>)
9 	Белосаксауловые (<i>Haloxylon persicum</i> , <i>Carex physodes</i>) и псаммофитнокустарниковые (<i>Calligonum aphyllum</i> , <i>C.leucocladum</i> , <i>Ammodendron conollyi</i> , <i>Astragalus paucijugus</i>)
<i>Мелкосопочные предгорные</i>	
10 	Полынные с участием эфемероидов: Злаково-полынные с эфемероидами (<i>Artemisia heptapotamica</i> , <i>A.semiarida</i> , <i>Stipa sareptana</i> , <i>S.richteriana</i> , <i>Poa bulbosa</i>)
11 	Злаково-петрофитноразнотравно-чернобоялычевые с эфемероидами и петрофилами: Злаково-сублессингиановополынно-чернобоялычевые с эфемероидами (<i>Salsola arbusculiformis</i> , <i>Artemisia sublessingiana</i> , <i>Stipa orientalis</i> , <i>Allium galanthum</i> , <i>Artemisia juncea</i> , <i>Ferula dissecta</i> , <i>F.syreitschikowii</i>)
12 	Эфемероидно-злаково-полынные (<i>Artemisia semiarida</i> , <i>A.heptapotamica</i> , <i>A.sublessingiana</i> , <i>Stipa sareptana</i> , <i>S.richteriana</i> , <i>Poa bulbosa</i>)
13 	Житняково-белоземельнополынные, житняковые (<i>Artemisia terrae-albae</i> , <i>Agropyron fragile</i> , <i>Carex physodes</i> , <i>Poa bulbosa</i> , <i>Ephedra lomatolepis</i>) и псаммофитнокустарниковые (<i>Calligonum aphyllum</i> , <i>Atraphaxis replicata</i> , <i>Ephedra lomatolepis</i> , <i>Ammodendron bifolium</i> , <i>Artemisia songarica</i> , <i>A.albicerata</i> , <i>Dendrostellera arenaria</i> , <i>D.ammodendron</i>)
<i>Межгорно-котловинные</i>	
14 	Злаково-полынные: Ковыльно-прутняково-семиреченскополынные (<i>Artemisia heptapotamica</i> , <i>Kochia prostrata</i> , <i>Stipa sareptana</i> , <i>S.richteriana</i>)
15 	Тасбиюргуновые и многолетнесолянковые: Тасбиюргуновые (<i>Nanophyton erinaceum</i>) и саксаульчиковые (<i>Arthrophytum iliense</i> , <i>A.balchaschense</i>)
16 	Петрофитномноголетнесолянковые: Полынно-чернобоялычевые (<i>Salsola arbusculiformis</i> , <i>Artemisia heptapotamica</i> , <i>A.juncea</i> , <i>Stipa caucasica</i> , <i>S.richteriana</i> , <i>S.orientalis</i> , <i>Ephedra intermedia</i>)
17 	Осоково-полынно-смешанносаксауловые (<i>Haloxylon aphyllum</i> , <i>H.persicum</i> , <i>Ammodendron bifolium</i> , <i>Artemisia terrae-albae</i> , <i>A.santolina</i> , <i>A.albicerata</i> , <i>Salsola arbuscula</i> , <i>S.orientalis</i> , <i>Carex physodes</i>) и псаммофитнокустарниковые (<i>Calligonum aphyllum</i> , <i>Salsola arbuscula</i>)
18 	Ивово-лоховые тугаи, тростниковые и луговые сообщества: Ряды сообществ: кустарниково-ивово-лоховые (<i>Elaeagnus oxycarpa</i> , <i>Salix alba</i> , <i>S.songorica</i> , <i>S.wilhelmsiana</i> , <i>Tamarix ramosissima</i> , <i>Halimodendron halodendron</i>) тугаи → тростниковые (<i>Phragmites australis</i>), разнотравно-злаковые (<i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Leymus multicaulis</i> , <i>Phragmites australis</i> , <i>Glycyrrhiza uralensis</i> , <i>Trachomitum lancifolium</i>) и солодовые (<i>Glycyrrhiza uralensis</i>) луга → заросли кустарников (<i>Tamarix ramosissima</i> , <i>Nitraria sibirica</i> , <i>Krascheninnikovia ceratoides</i>) в сочетании с опустыненными солянково-разнотравными

	(Karelinia caspica, Alhagi pseudalhagi, Dodartia orientalis, Salsola nitraria, Atriplex tatarica) лугами и редколесьями туранги (Populus diversifolia) – на реке Иле
	РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ДОЛИН РЕК, ПОБЕРЕЖИЙ МОРЕЙ, ОЗЕР И ВОДОХРАНИЛИЩ В ПУСТЫНЯХ
	<i>Межгорно-котловинные</i>
19 	Кустарниково-лоховые тугаи, редколесья и луга: Ряды сообществ: кустарниково-лоховые (Elaeagnus oxycarpa, Salix michelsonii, S.songarica, Tamarix ramosissima, Clematis orientalis) тугаи → злаково-солодковые (Glyzyrrhyza glabra, Leymus multicaulis, Calamagrostis epigeios) луга кустарниково-туранговые (Populus diversifolia, P.pruinosa, Berberis iliensis, Tamarix ramosissima, Reamuria songorica) редколесья
20 	Тростниковые, галофитномноголетнесолянковые и галофитнокустарниковые сообщества: Ряды сообществ: разнотравно-тростниковые (Pragmites australis, Dactylorhiza salina) травяные болота → ажреково-кендыревые с поташником (Kalidium foliatum, Aeluropus litoralis, Poacinum pictum) луга → кустарниковые (Suaeda physophora, Tamarix hispida) и многолетнесолянковые (Halimione verrucifera, Anabasia salsa) сообщества на солончаках (водохранилище Капшагай)
	<i>Предгорные</i>
21 	Луга, чиевники и кустарниковые заросли: Свиноевые (Cynodon dactylon) и разнотравные (Daucus carota, Glyzyrrhiza asperula, Althea officinalis) луга в сочетании с полынно-солодково-чиевыми (Achnatherum splendens, Glycyrrhiza aspera, Artemisia nitrosa) сообществами и сельскохозяйственными землями (западнее водохранилища Капшагай)

Таблица Л.1 – Легенда карты «Растительность западной части Жетысу Алатау»

ПРИЛОЖЕНИЕ М



Рисунок М.1 – Антропогенные овраги на восточных окраинах с. Коктума

Ноябрь 2015 год



Ноябрь 2016 год



Ноябрь 2017 год



Рисунок М.2 – Антропогенные овраги, разрушенная водопропускная труба на 1,7 км автодороги Сарыозек-Хоргос

ПРИЛОЖЕНИЕ Н

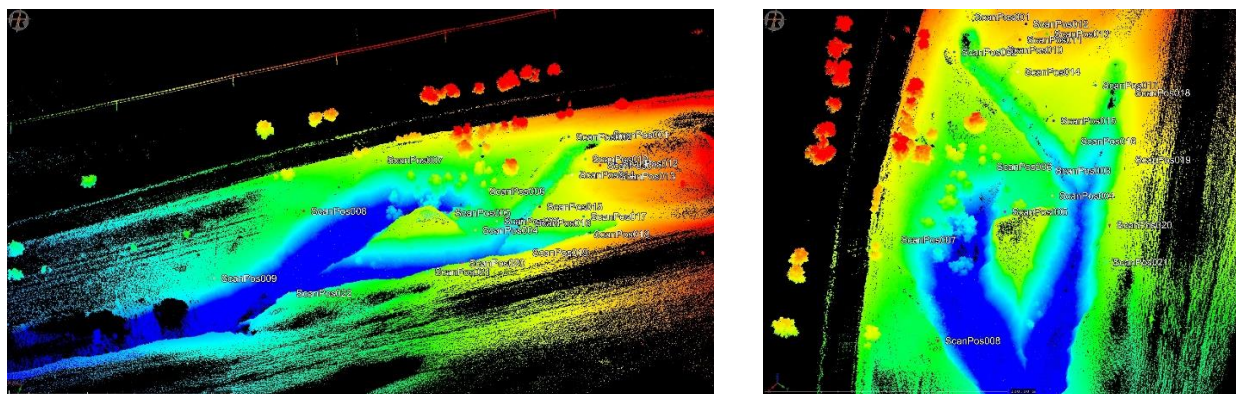


Рисунок Н.1 – Этапы обработки НЛС: созданное в единое облако точек из полученных данных с лазерного сканера оврага в долине р. Мукры, виды с боку и с верху

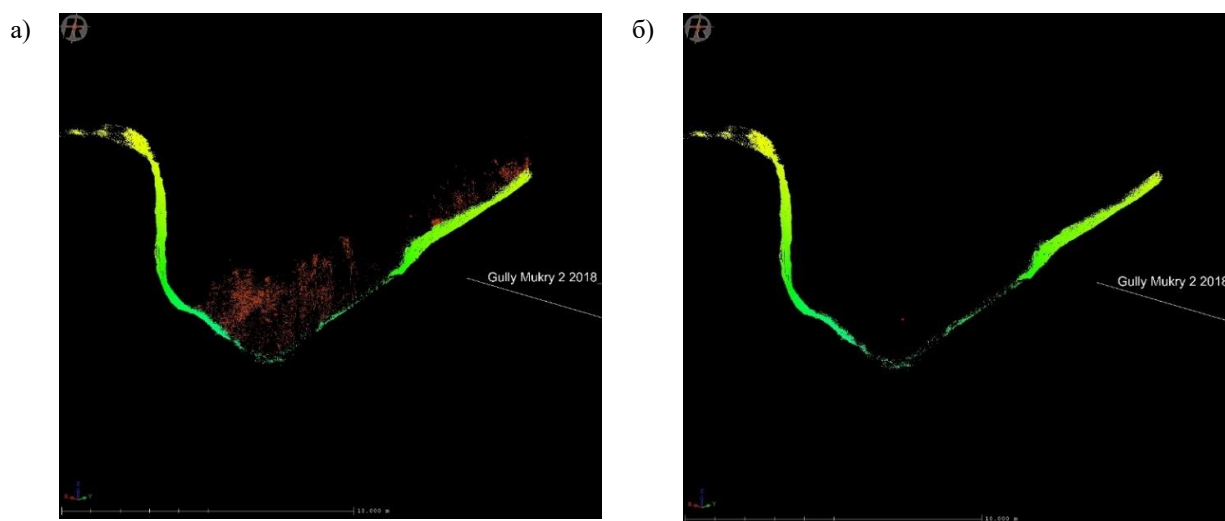


Рисунок Н.2 – Этапы обработки НЛС: очистка полученных данных от растительности и от посторонних не природных предметов данных оврага в долине р. Мукры: а) вид до очистки; б) вид после очистки

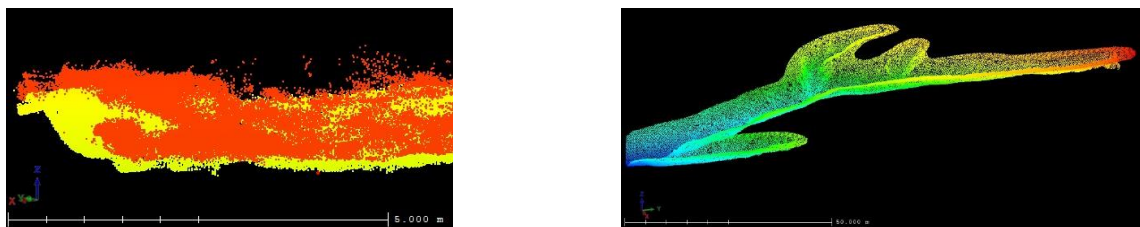


Рисунок Н.3 – Этапы обработки НЛС: очистки от «эхо» сигналов, полученных данных оврага в западной части хребта Малайсары

ПРИЛОЖЕНИЕ П

Таблица П.1 – Морфометрические характеристики овражно-саевой сети хребта Малайсары

Количество и морфометрические характеристики оврагов на северном склоне хр. Малайсары							
		Вершинная часть оврага		Середина оврага		Нижняя часть оврага	
№ п/п	Длина, м	глубина, м	ширина, м	глубина, м	ширина, м	глубина, м	ширина, м
1	321	9,7	18,8	5,7	16,9	4,2	12,2
2	615	4,2	10,8	4,4	13,55	3,9	9,2
3	339	2,4	4,5	2,9	6,1	2,2	5,5
4	365	3,1	8,6	2,6	7,9	2,2	5,2
5	478	4,3	17,4	2,9	9,9	2,95	8,1
6	346	3,5	9,2	3,1	8,4	6,1	19,5
7	897	2,5	10,4	5,3	14,7	4,7	16,3
8	310	3,6	8,4	3,8	12,3	2,8	8
9	5925	9,6	23	6,3	16,2	5,3	11,6
10	282	5,6	14,7	6,9	21,8	4,4	11,6
11	641	2,3	5,8	3,1	6,3	2,7	7,8
12	221	2,4	6,2	2,6	10,6	2,8	7
13	301	2	9,5	3	11,9	2,8	6,6
14	351	1,8	4	2,1	4,2	1,2	4,5
15	125	2,34	5,5	4,2	14,3	3,9	12,8
16	12300	7,1	37,4	8,4	23,9	10,5	41,5
17	254	2,2	4,8	1,3	2,7	2,5	5,1
18	548	4,4	11,7	3	7,2	2	8,8
19	501	12,1	24	16,4	35,4	15,2	38,7

20	1291	6,3	12,8	10,2	25,4	6,9	19,7
21	83	3,3	5,8	3,9	6,7	2,1	4
22	124	2,1	3,9	3,1	5,6	3,5	6,4
23	176	2,4	5,2	2,2	6,8	3,9	10,5
24	1701	2,6	9	4,7	21,8	6,8	18,4
25	269	4,05	11,4	6,1	24,8	7,8	30,9
26	180	1,9	4,1	5,5	11,5	3,4	7,5
27	954	4,7	10,5	11	25,6	10,2	36,3
28	908	2,8	11,1	7,2	16,7	1,9	14,8
29	263	3,5	9,3	5,6	16,3	5,9	21,6
30	2757	10,8	29,5	14,6	58,7	8,1	24,9
31	180,1	2,8	7,4	4,6	12,4	2,5	6,1
32	203	1,5	3,2	1,4	3,5	0,9	2,25
33	88	3,4	6,1	2,9	7,1	1,6	4,2
34	486	3,8	11,2	5,3	14	3	9,6
35	355	3,9	9,5	4	6,9	2,4	4,9
36	255	3,1	8,8	2,6	5,3	1,9	5,8
37	671	3,8	9,6	4,7	9,1	3,2	16,4
38	779	4,2	11,1	4,7	13	2,2	5,8
Количество и морфометрические характеристики оврагов на южном склоне хр. Малайсары							
		Вершинная часть оврага		Середина оврага		Нижняя часть оврага	
	Длина, м	глубина, м	ширина, м	глубина, м	ширина, м	глубина, м	ширина, м
1	1604	3,3	7	6,7	19,8	4,4	13,8
2	617	2,5	5,7	3,6	11,5	2,8	8,6
3	201	4	10,1	3,5	8,8	2,3	5,2

4	871	2,6	7,3	2,8	6	1,6	4,7
5	442	4,3	9,1	3,1	7,2	1,4	4,3
6	531	5	10,7	5,3	16,8	3,1	15,4
7	639	2,1	5,55	1,7	4,7	2,6	6,6
8	1859	3,8	14,5	3,7	7,7	2,7	11,1
9	1486	2,2	6,8	5,1	23,4	5,2	16,7
10	410	2	4,2	2,6	9	2	4,3
11	201	2,5	4,9	3	7,8	2,2	7,6
12	232	1,6	3,8	1,9	3,7	1,4	5
13	795	3,1	8,6	4,3	9,4	6,9	38,5
14	605	3,3	9,8	4,6	7,9	4	11,1
15	212	2,5	5,3	2,5	6,3	2,9	8,4
16	164	1,9	4,95	2,3	6,4	2,6	7,3
17	67	1,5	4,9	2,5	5,9	2,1	7,2
18	172	2,1	4,5	2,6	8,1	2,3	8,3
19	63	2,3	5,3	3,1	8,6	4,5	9,4

Таблица П.2 – Морфометрические характеристики оврагов в долине р. Мукур

Количество и морфометрические характеристики оврагов по левому борту р. Мукур							
№ п/п	Длина, м	Вершинная часть оврага		Середина оврага		Нижняя часть оврага	
		глубина, м	ширина, м	глубина, м	ширина, м	глубина, м	ширина, м
1	1680	4,5	9,1	4	8,5	3,3	7
2	320	3,5	6	5	11,15	1	3
3	222	3,2	6	3,5	5,5	2,2	4,5
4	890	5,8	9	4	7,3	2,6	4,5
5	423	4,5	9,8	3	5,85	1,7	3,4

6	587	5,6	10,2	6,3	12,6	2	4,1
7	371	7,5	14	7,3	13,4	2,5	4,9
8	4118	2,2	6,1	4	7,8	5	29,3
9	154	5,27	10,4	8,4	16,6	4,5	16,6
10	73	4,3	7,2	6	11,5	3,2	5,2
11	3640	7,7	17,7	5,2	10,6	3,6	6,1
12	5863	4,5	7,7	10,9	21,4	4,3	12,3
13	464	4,9	8,5	4,4	7,6	3,2	9
14	292	3,6	8,7	4,6	11,3	2	4,8
15	554	4	8,8	2,7	4,5	3	10,7
16	307	1,7	3,6	2	5,4	3,6	8,4
17	431	1,8	3,8	4,3	8,7	2,9	7,9
18	58	2,3	4	3	8,1	2,8	7,8
19	193	4,5	8,8	2,9	5,7	2,9	7,3
20	3677	3,3	6,2	5,3	11	4,7	10
21	475	2,8	5,9	2,2	6,7	2,8	7
22	191	2,5	4,4	1,5	3,5	0,5	2
23	1885	6,1	15,8	13,3	30,1	2,2	6,4
24	3449	5,4	16	4,7	8,6	4,2	7,2
25	579	4,8	13,4	6,7	13,4	2	4,3
26	491	3,8	6	3,2	6,5	1,9	3,9
27	288	3,6	5,85	1,6	4,1	1,4	4,2
28	199	2,3	4,2	3,2	5,4	1,5	3,3
29	1539	4,4	8,6	6,8	12,4	2,4	4,8
30	1592	8,3	15,9	9	20,2	4,6	13,5
31	1194	9,5	18,2	9,8	18,7	7,5	16,8
32	1372	7,2	19,4	6,2	17,2	5,5	9,5

33	8175	5,5	9,5	7,4	13,75	3,9	13,25
34	129	2,2	5,4	3,8	6,9	1,8	3,2
Количество и морфометрические характеристики оврагов по правому борту р. Мукур							
		Вершинная часть оврага		Середина оврага		Нижняя часть оврага	
	Длина, м	глубина, м	ширина, м	глубина, м	ширина, м	глубина, м	ширина, м
1	185	2,2	5	2,3	4,6	1,8	3
2	560	4,4	7,3	5,7	10,1	3,3	7,2
3	1315	6,7	13,8	6,7	14,7	2,4	5,6
4	721	2,8	6,2	2,6	4,6	2,3	4,6
5	1704	3,8	6,8	3,7	9,2	3,3	8,7
6	462	5	12,7	6,3	13,1	3,9	8,3
7	640	6,8	11,4	5,2	9,9	4,3	8,1
8	472	2,1	3,87	2,5	5,5	2,4	4,5
9	199	2,8	4,95	4,1	8,7	3,7	6,73
10	841	7,9	15,7	4,7	10,3	4	6,3



Рисунок П.3 – Овраги в долине р. Мукур

ПРИЛОЖЕНИЕ Р

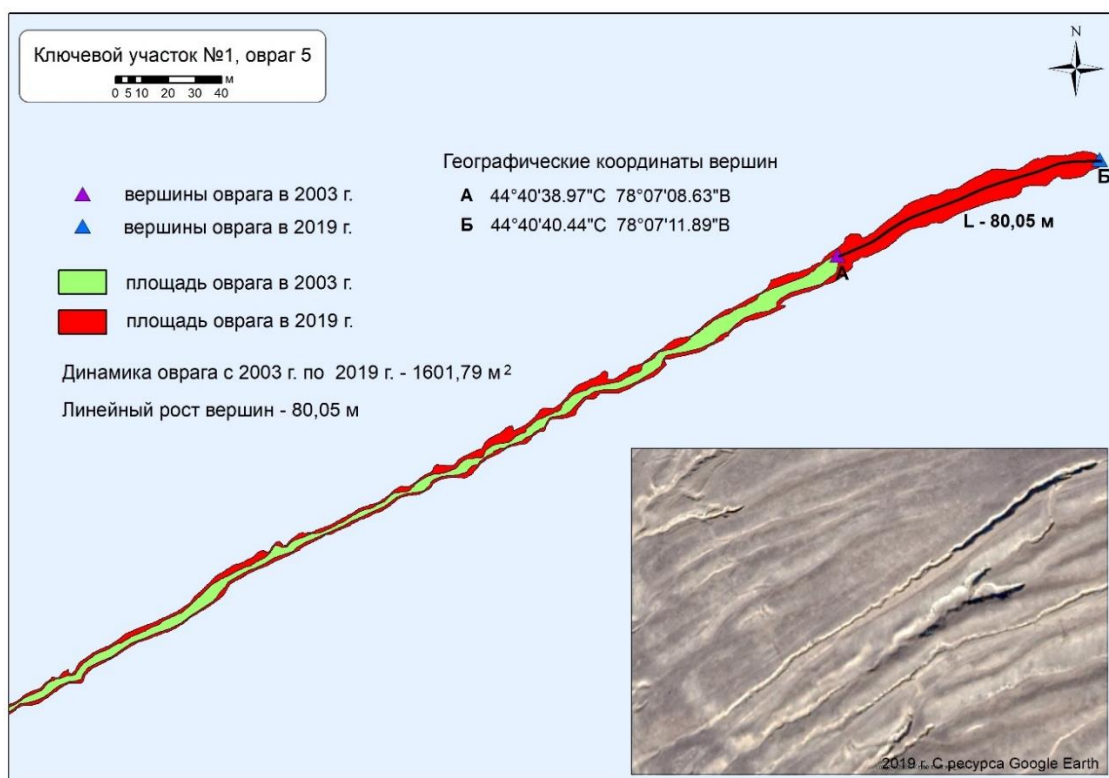


Рисунок Р.1 – Линейный рост и площадное развитие оврага №5 ключевого участка №1 по данным космических снимков с 2003 по 2019 гг.

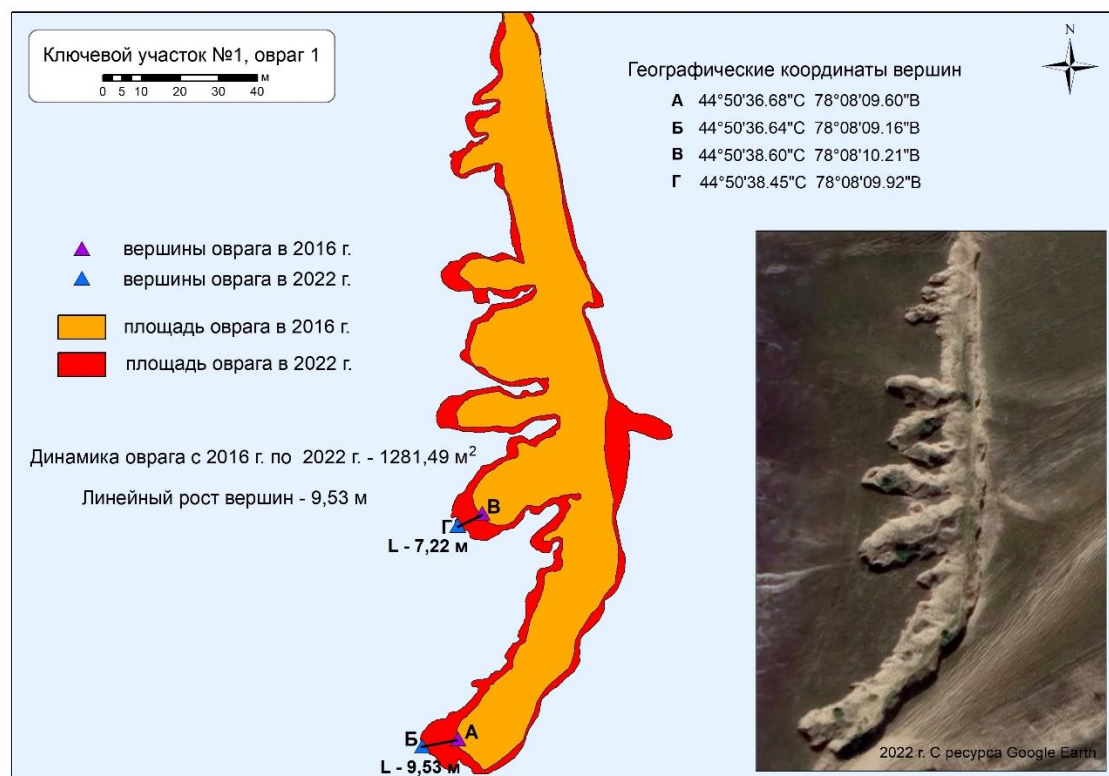


Рисунок Р.2 – Линейный рост и площадное развитие оврага №1 на ключевом участке №1

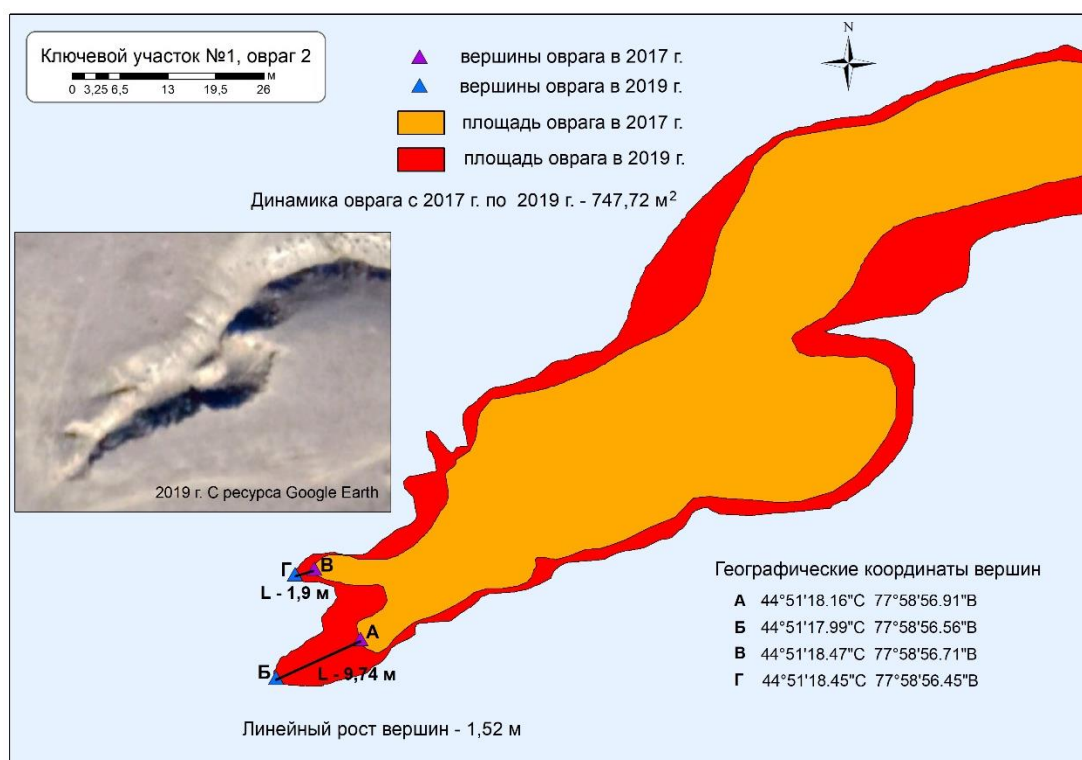


Рисунок Р.3 – Линейный рост и площадное развитие оврага №2 на ключевом участке №1

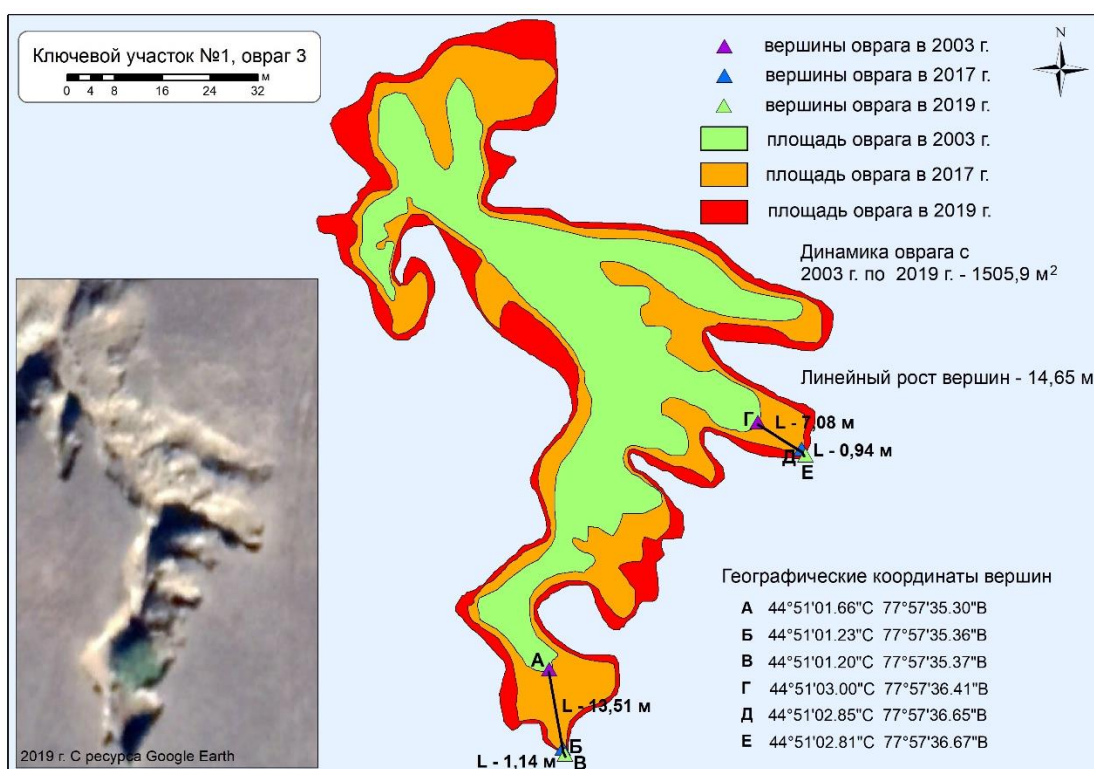


Рисунок Р.4 – Линейный рост и площадное развитие оврага №3 на ключевом участке №1

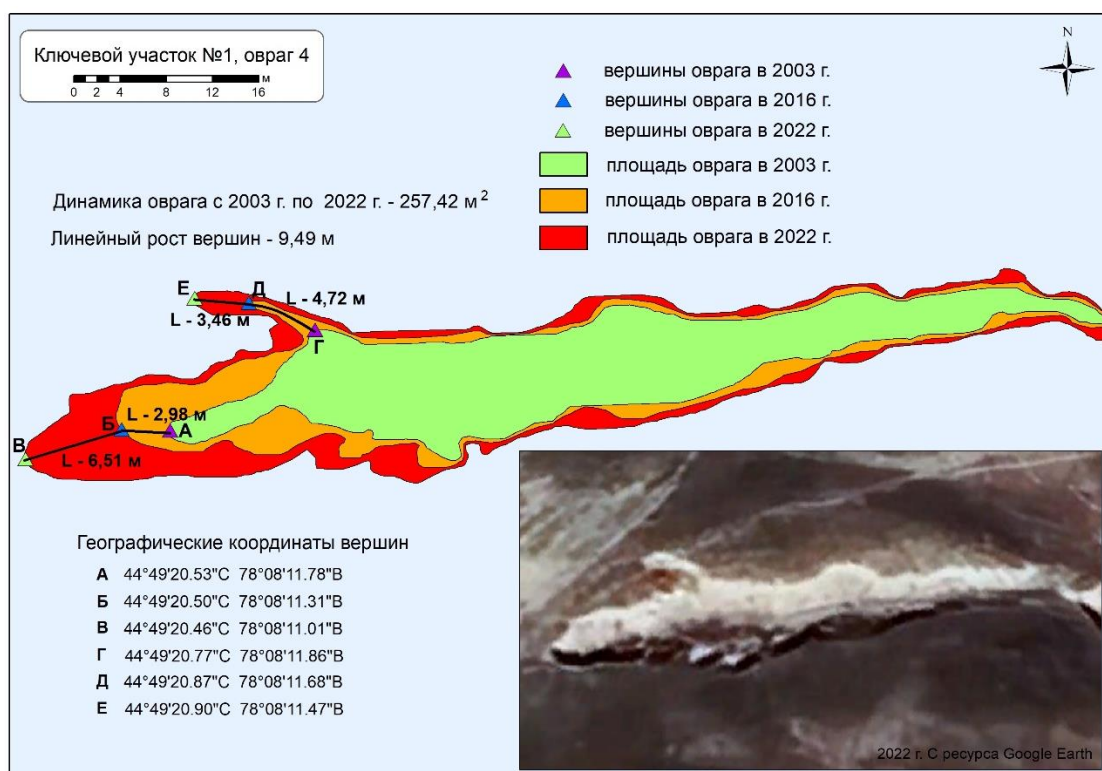


Рисунок Р.5 – Линейный рост и площадное развитие оврага №4 на ключевом участке №1

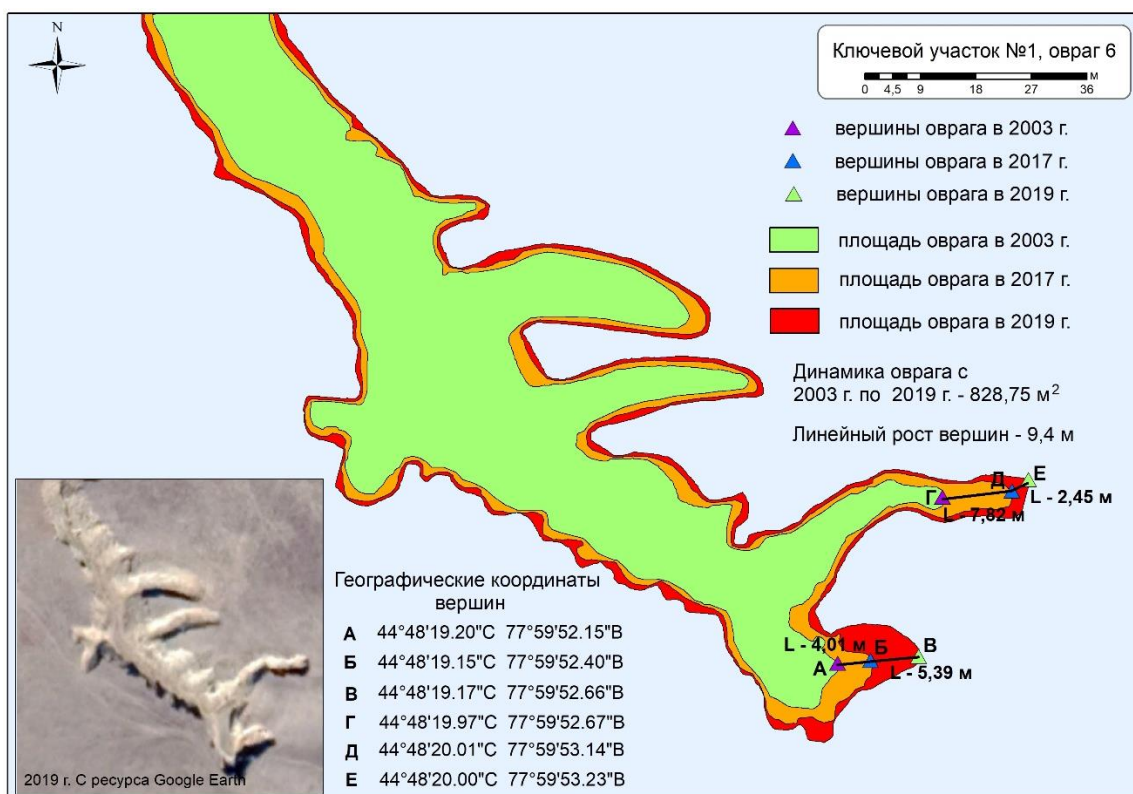


Рисунок Р.6 – Линейный рост и площадное развитие оврага №6 на ключевом участке №1

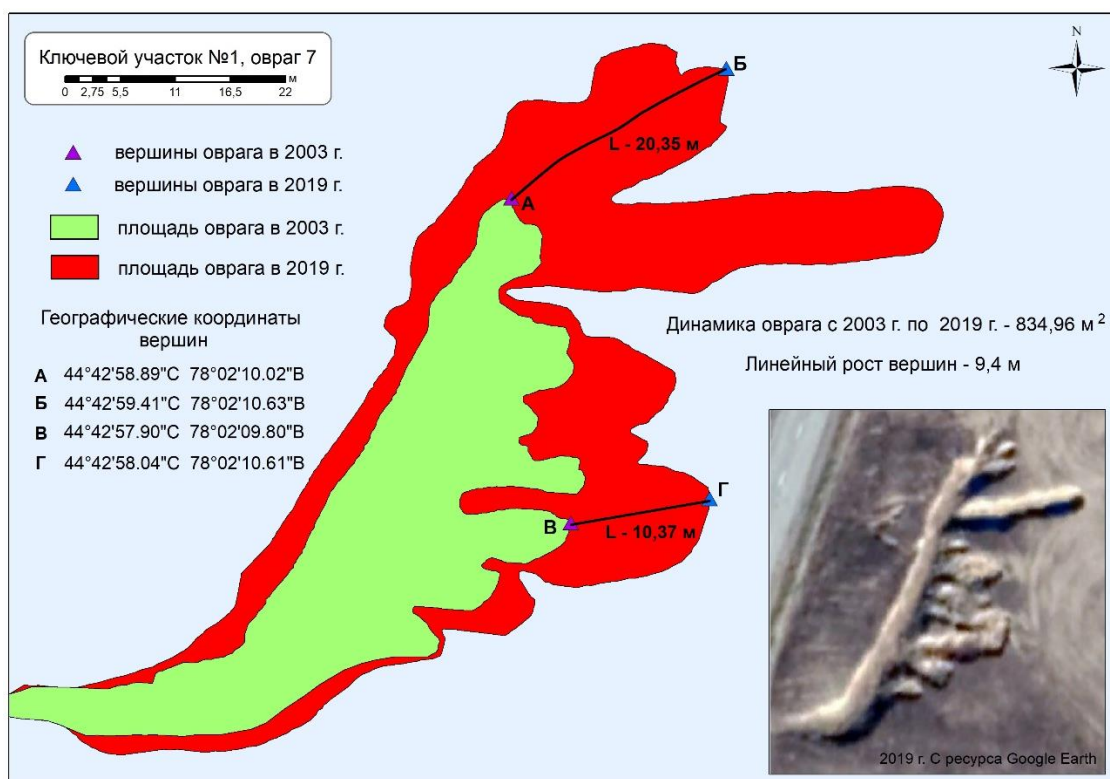


Рисунок Р.7 – Линейный рост и площадное развитие оврага №7 на ключевом участке №1

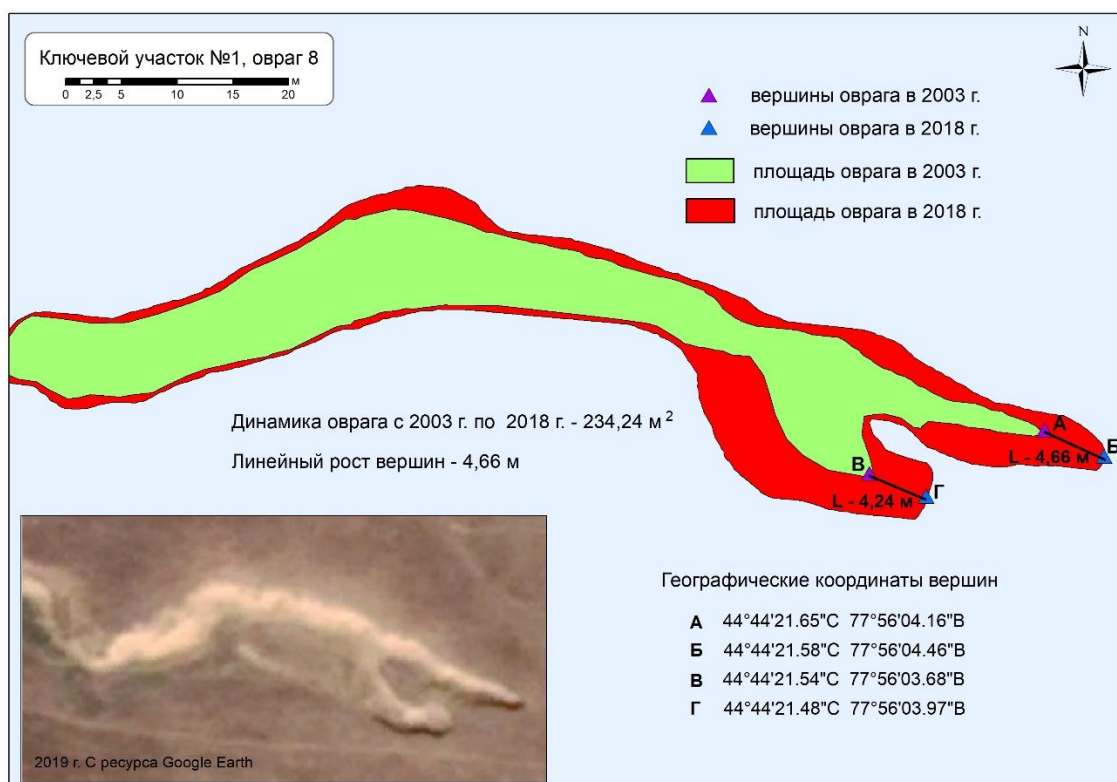


Рисунок Р.8 – Линейный рост и площадное развитие оврага №8 на ключевом участке №1

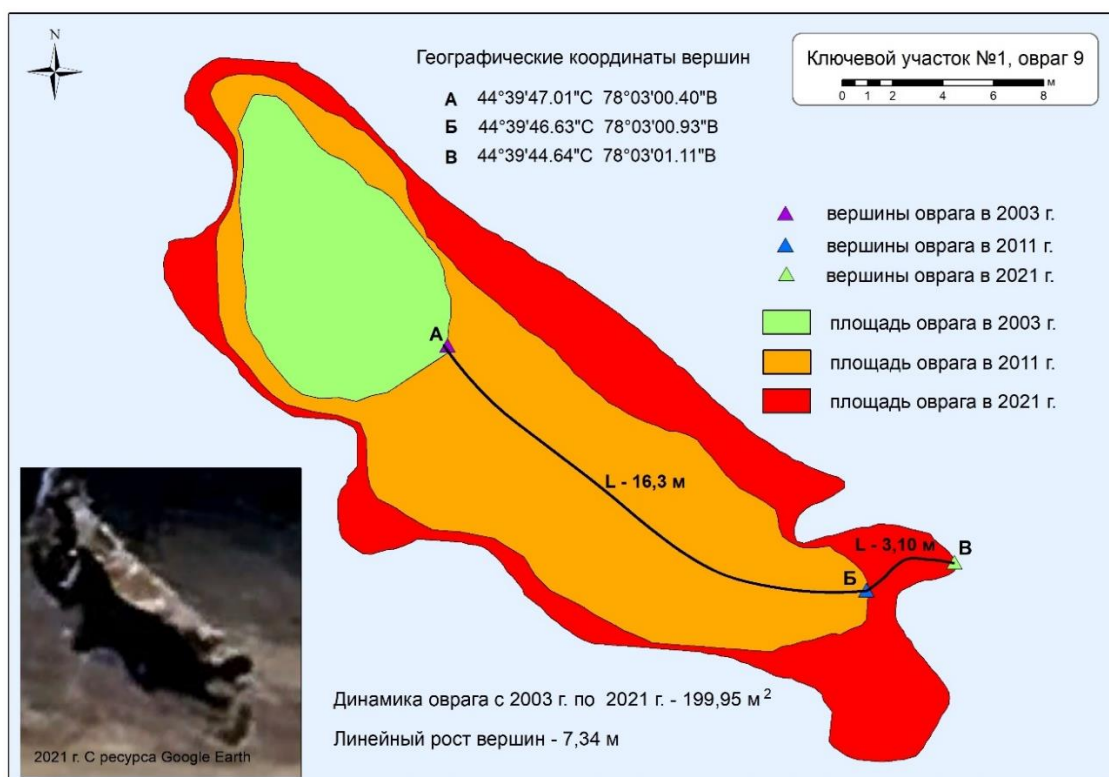


Рисунок Р.9 – Линейный рост и площадное развитие оврага №9 на ключевом участке №1

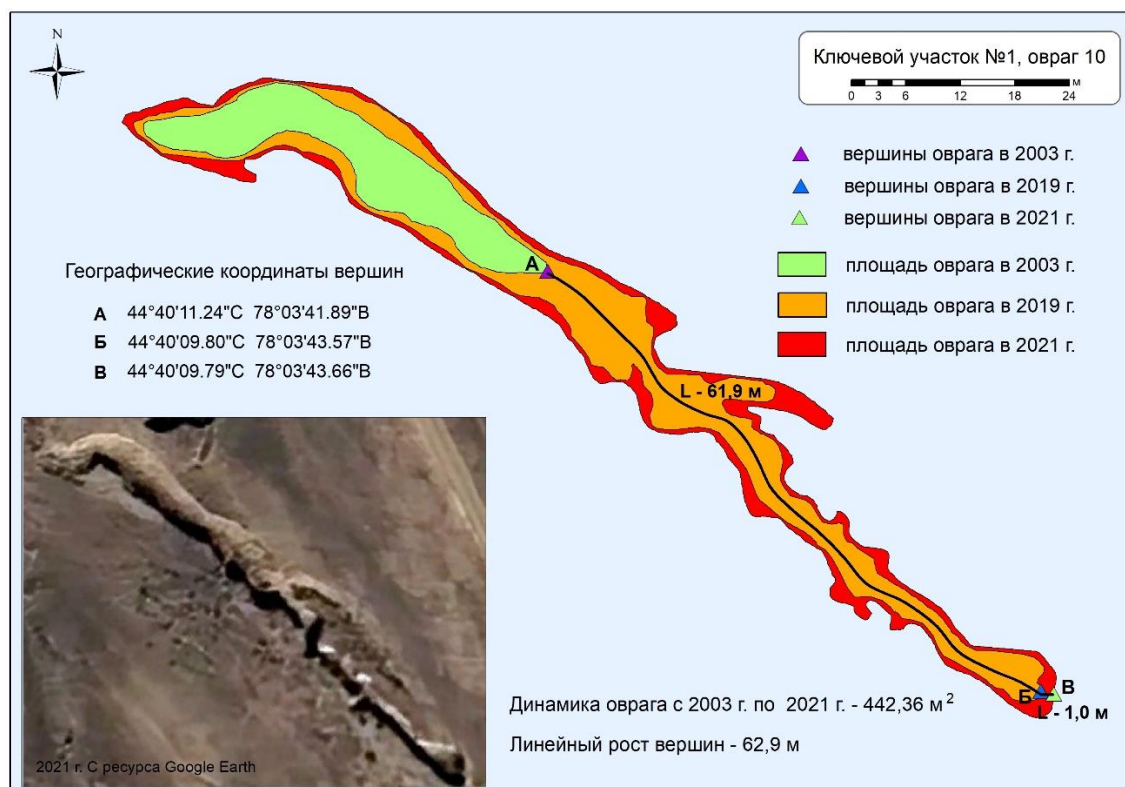


Рисунок Р.10 – Линейный рост и площадное развитие оврага №10 на ключевом участке №1

ПРИЛОЖЕНИЕ С



Рисунок С.1 – Линейный рост и площадное развитие оврага №3 ключевого участка №2 по данным космических снимков с 2004 по 2022 гг.

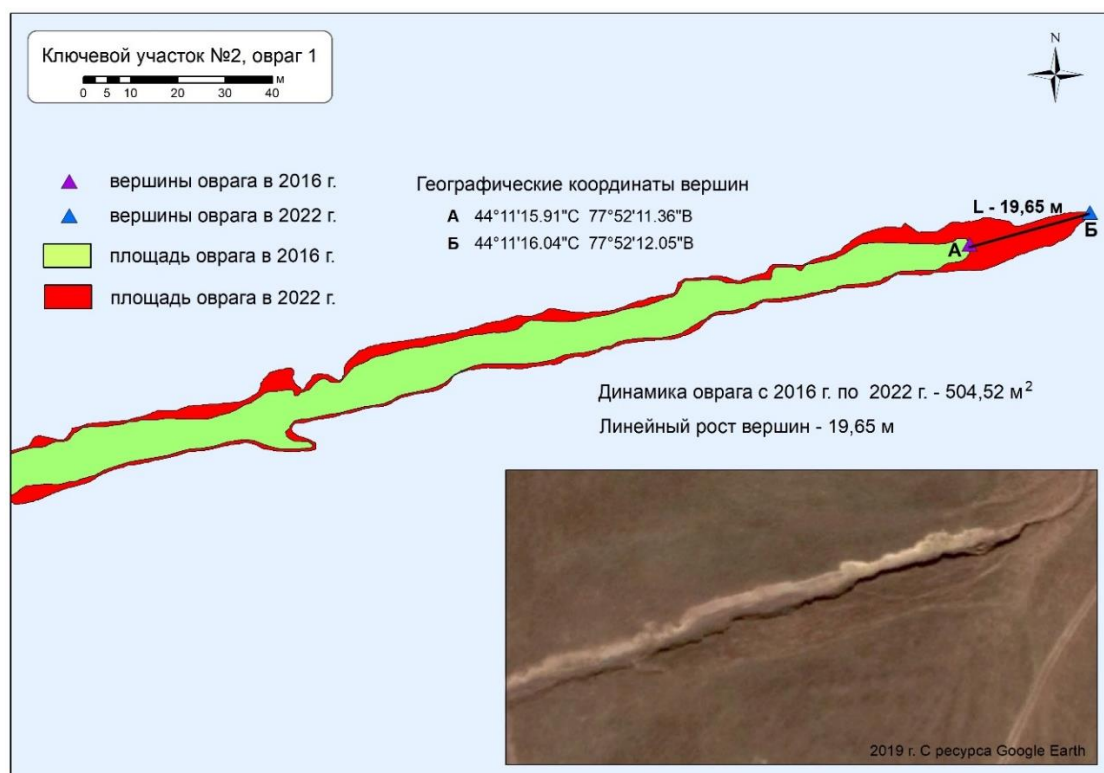


Рисунок С.2 – Линейный рост и площадное развитие оврага №1 на ключевом участке №2

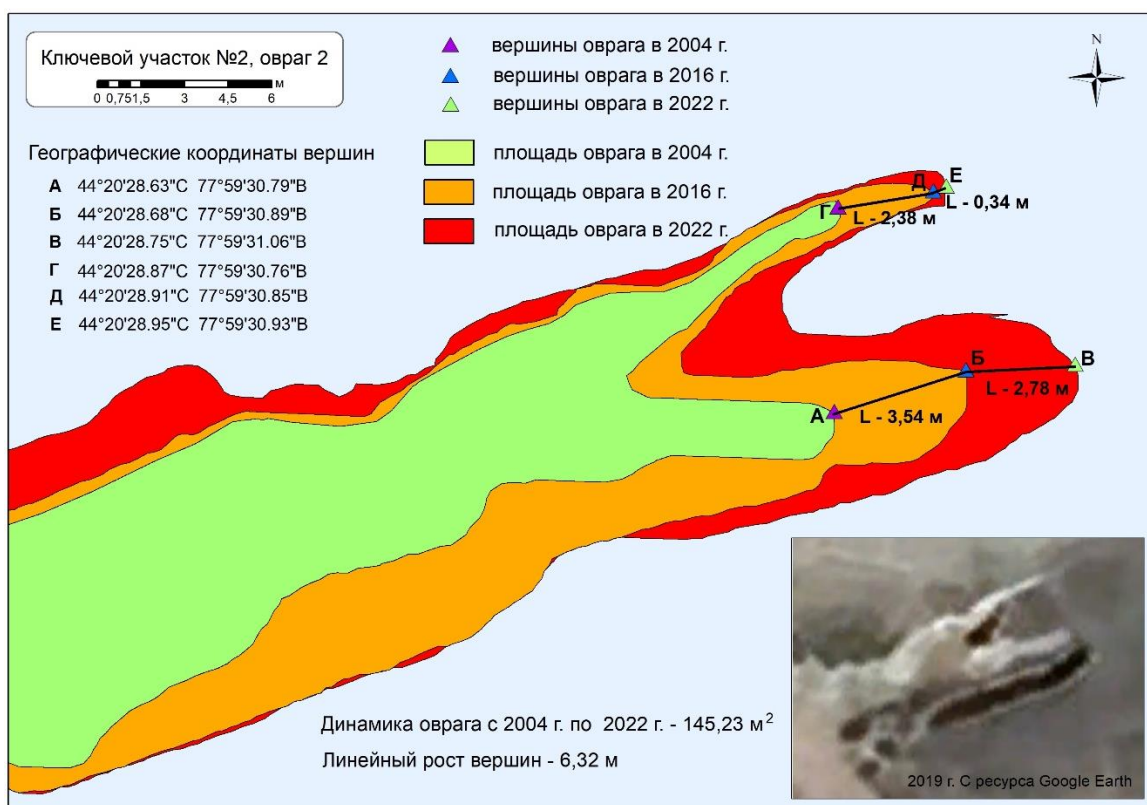


Рисунок С.3 – Линейный рост и площадное развитие оврага №2 на ключевом участке №2



Рисунок С.4 – Линейный рост и площадное развитие оврага №3 на ключевом участке №2

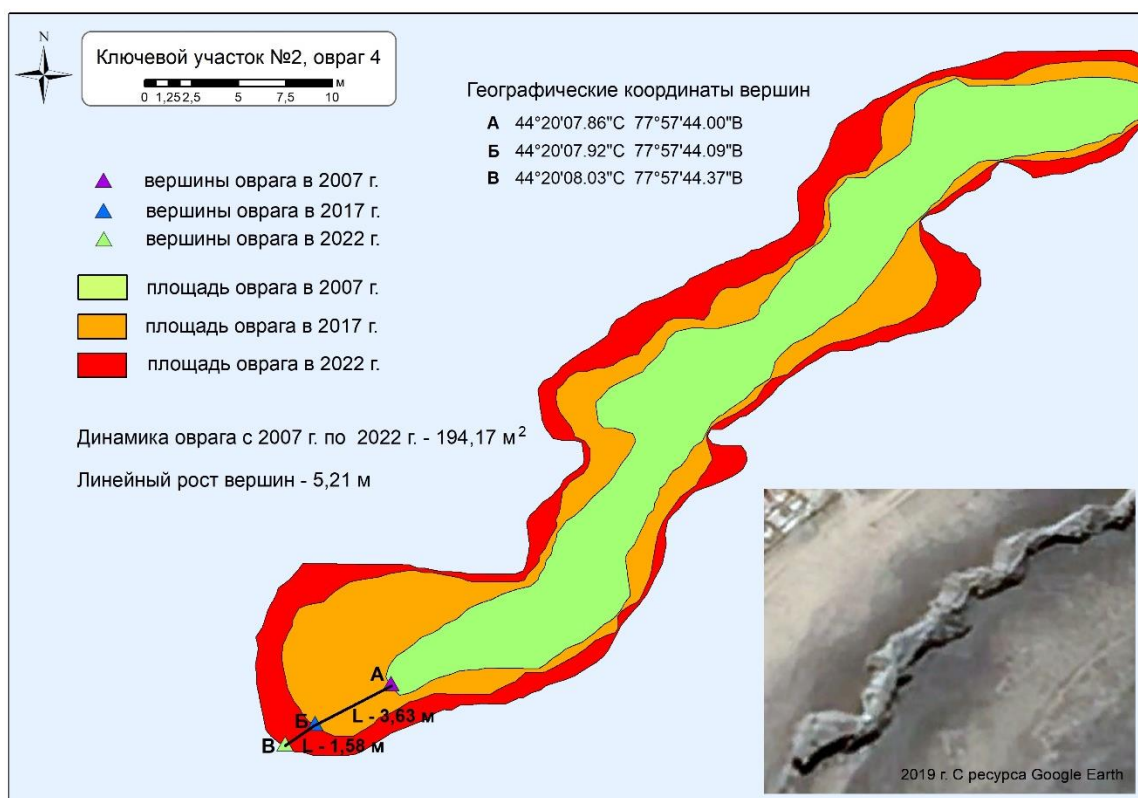


Рисунок С.5 – Линейный рост и площадное развитие оврага №4 на ключевом участке №2

ПРИЛОЖЕНИЕ Т

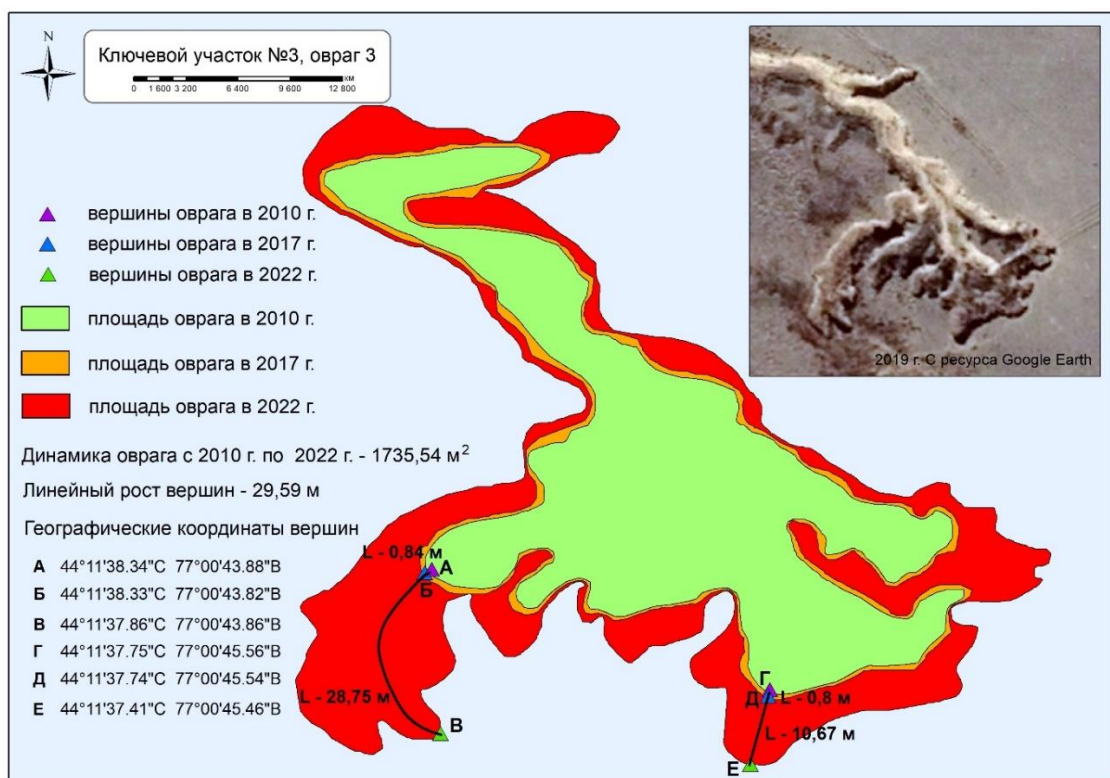


Рисунок Т.1 – Линейный рост и площадное развитие оврага №3 ключевого участка №3 по данным космических снимков с 2010 по 2022 гг.

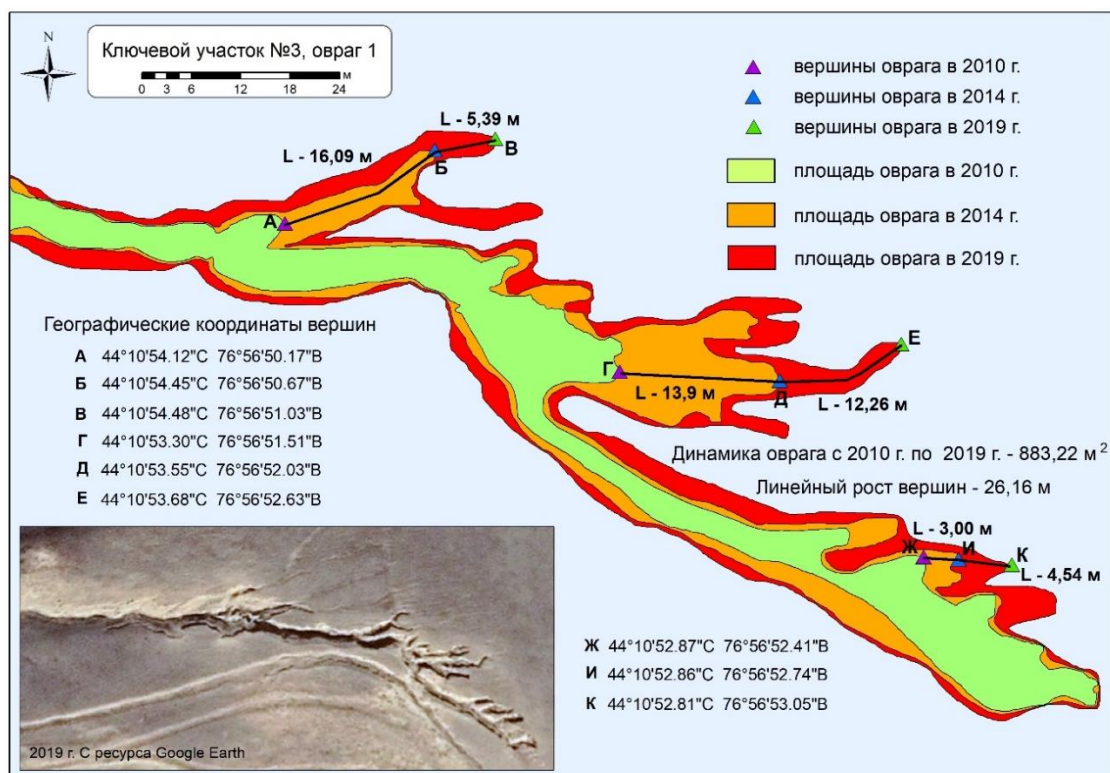


Рисунок Т.2 – Линейный рост и площадное развитие оврага №1 на ключевом участке №3

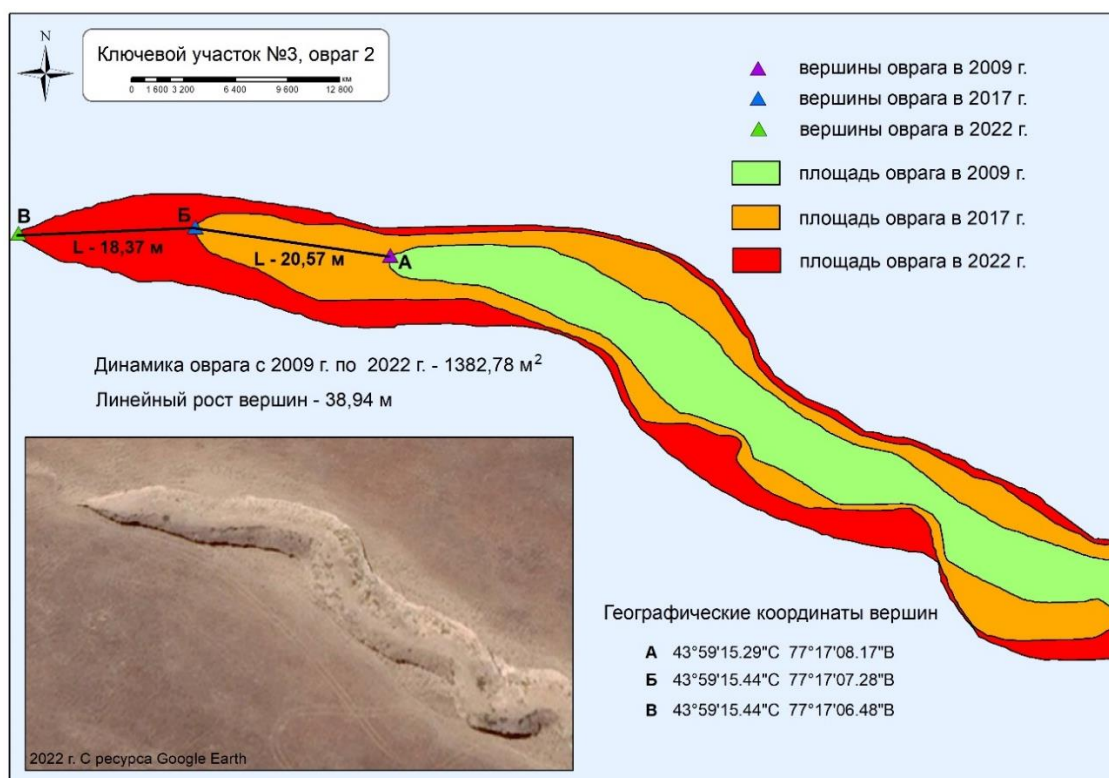


Рисунок Т.3 – Линейный рост и площадное развитие оврага №2 на ключевом участке №3

ПРИЛОЖЕНИЕ У

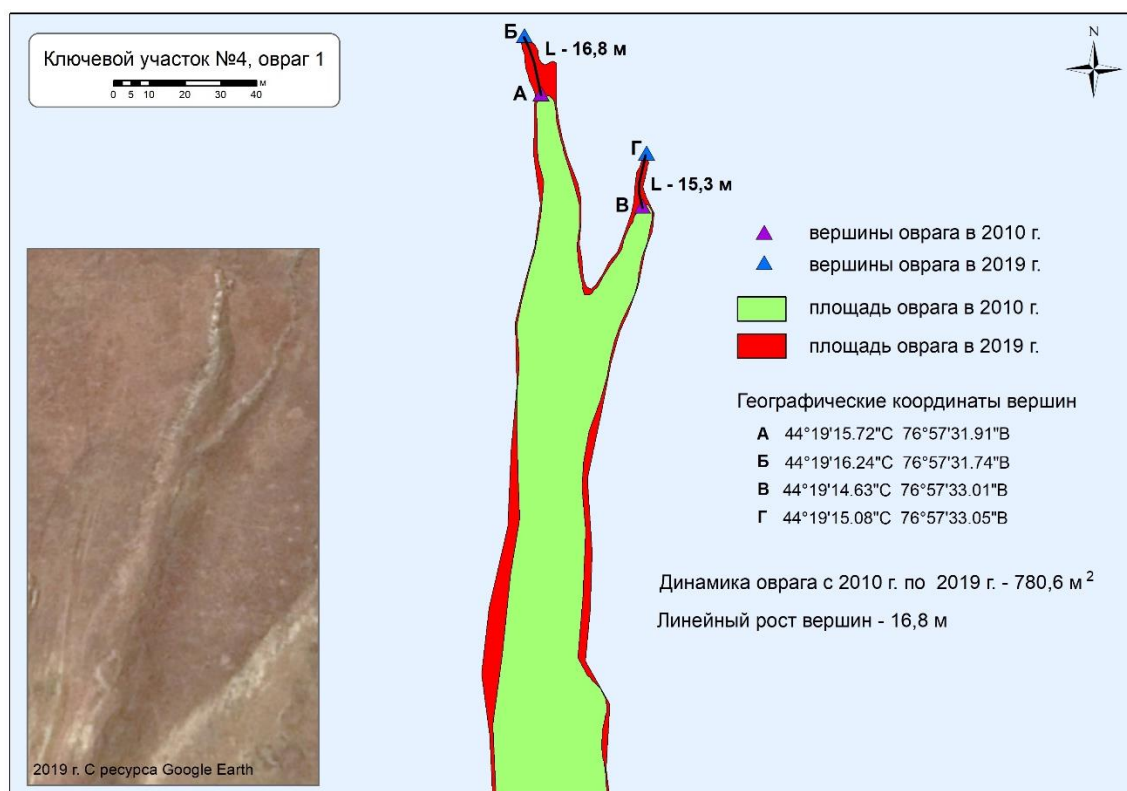


Рисунок У.1 – Линейный рост и площадное развитие оврага №1 на ключевом участке №4

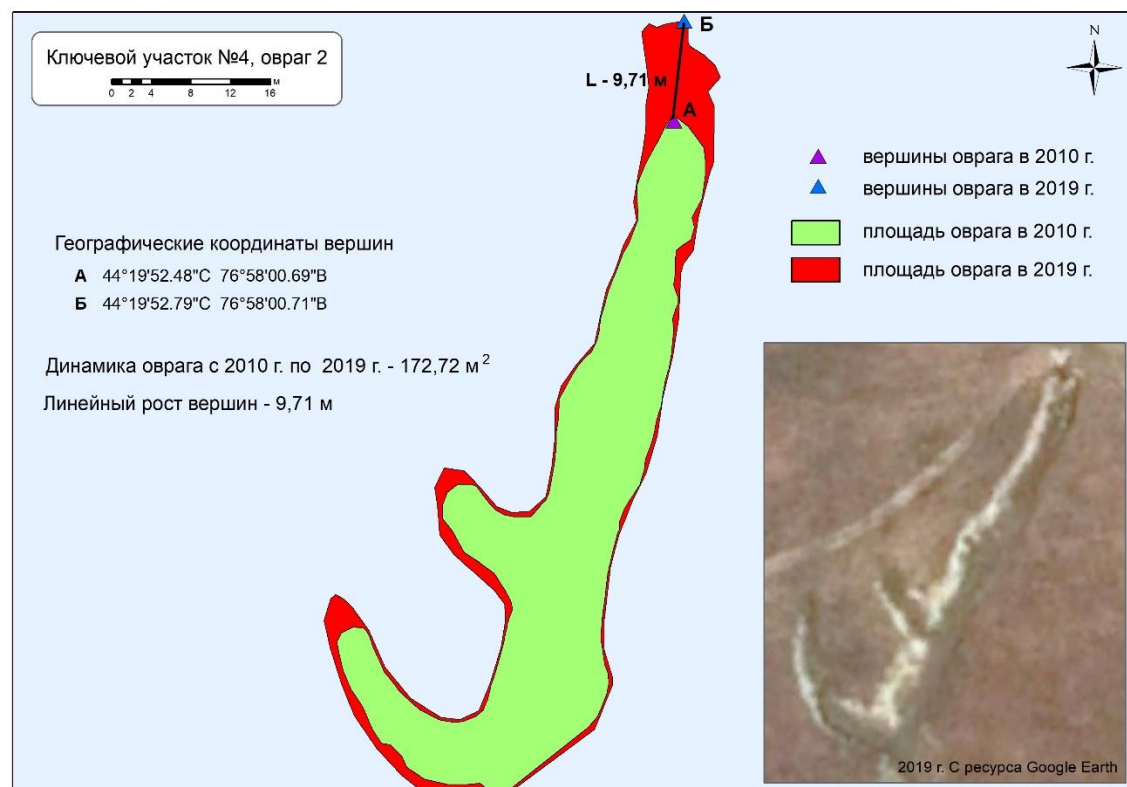


Рисунок У.2 – Линейный рост и площадное развитие оврага №2 на ключевом участке №4

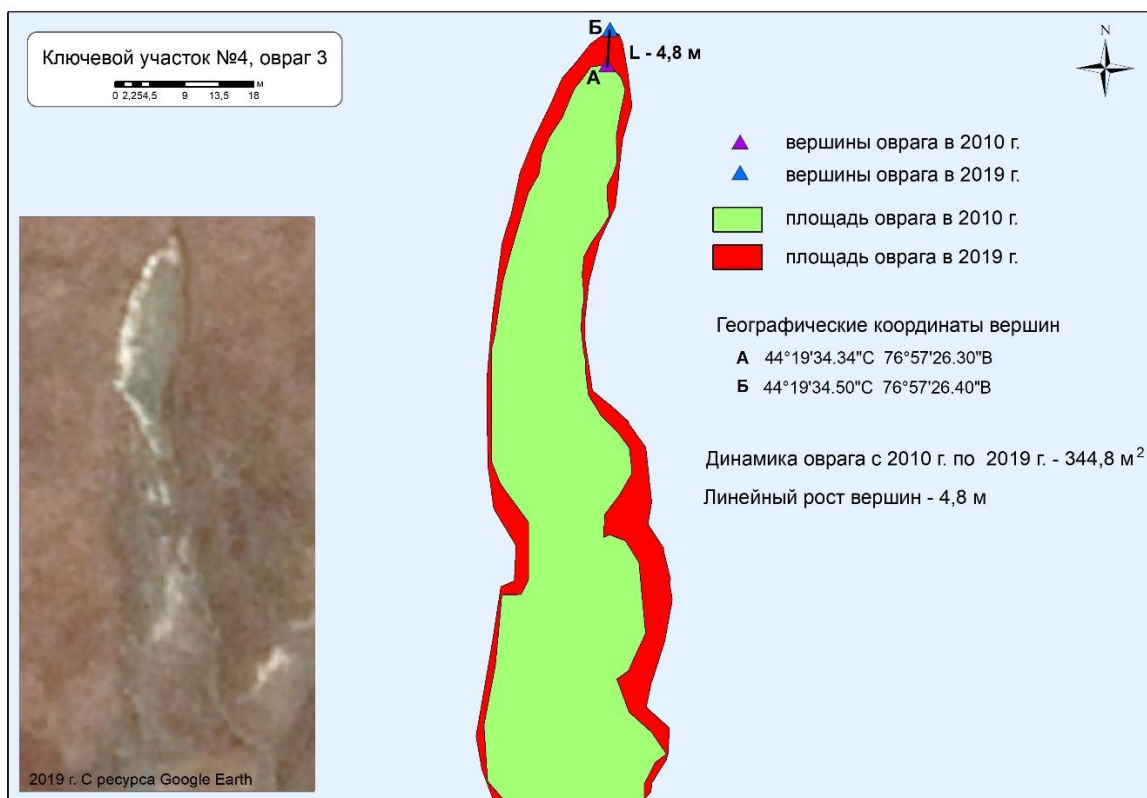


Рисунок У.3 – Линейный рост и площадное развитие оврага №3 на ключевом участке №4

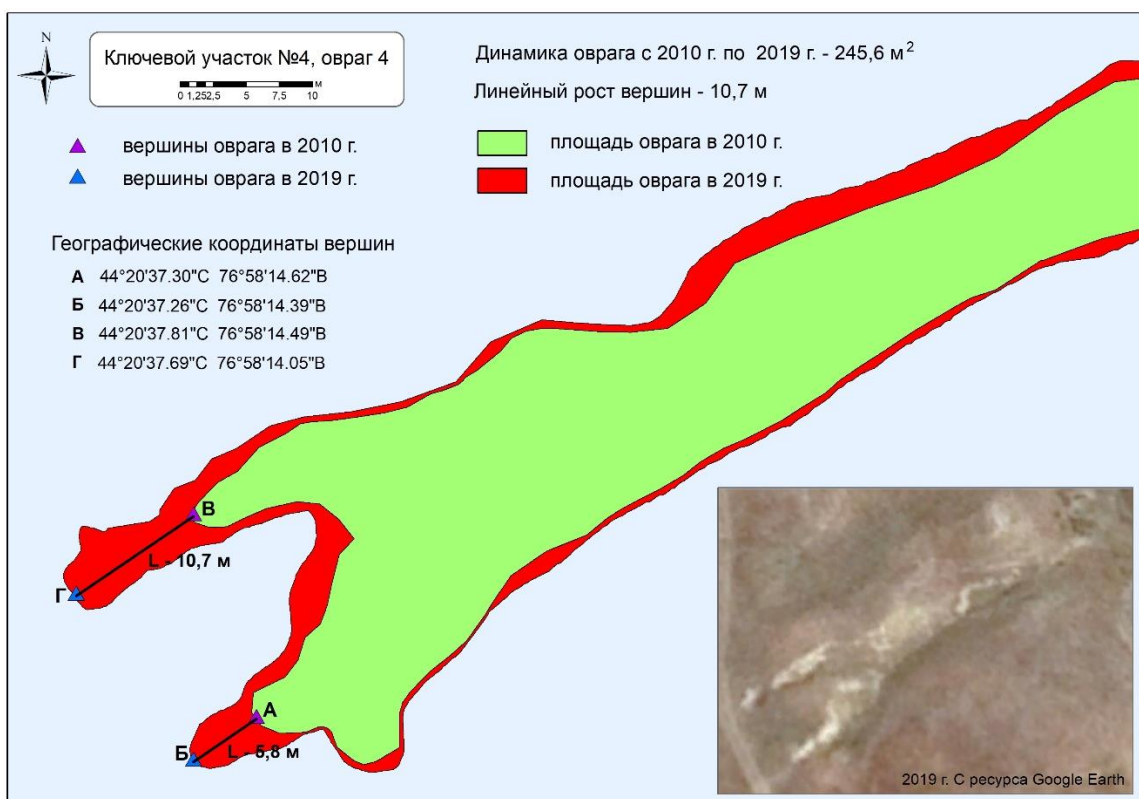


Рисунок У.4 – Линейный рост и площадное развитие оврага №4 на ключевом участке №4

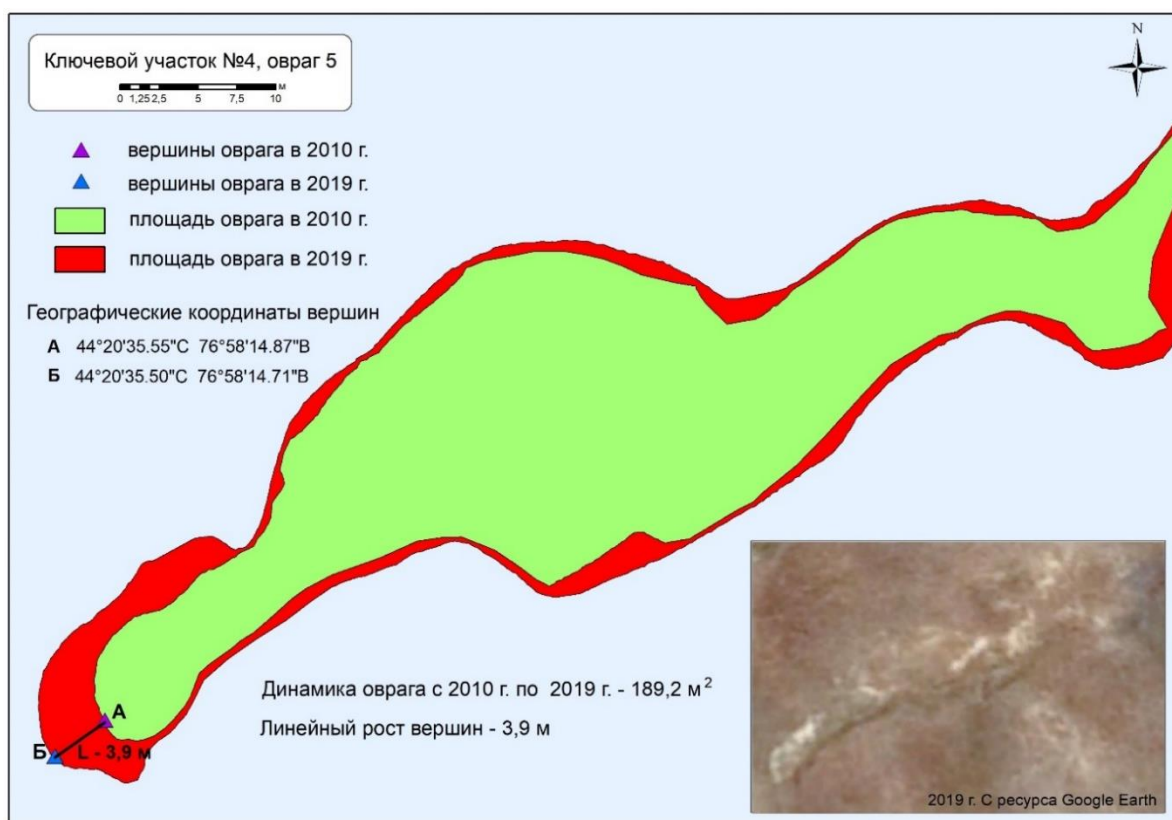
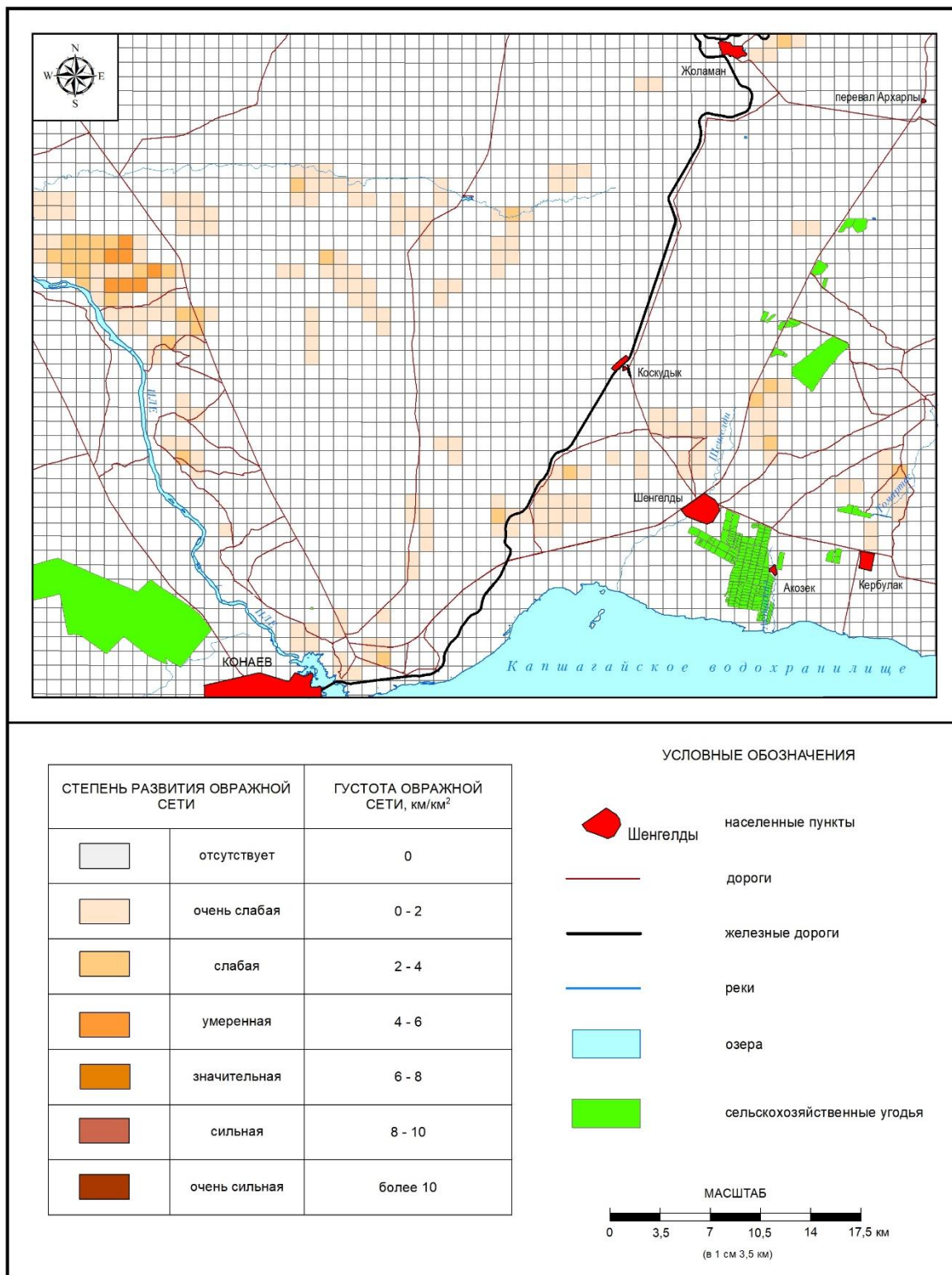
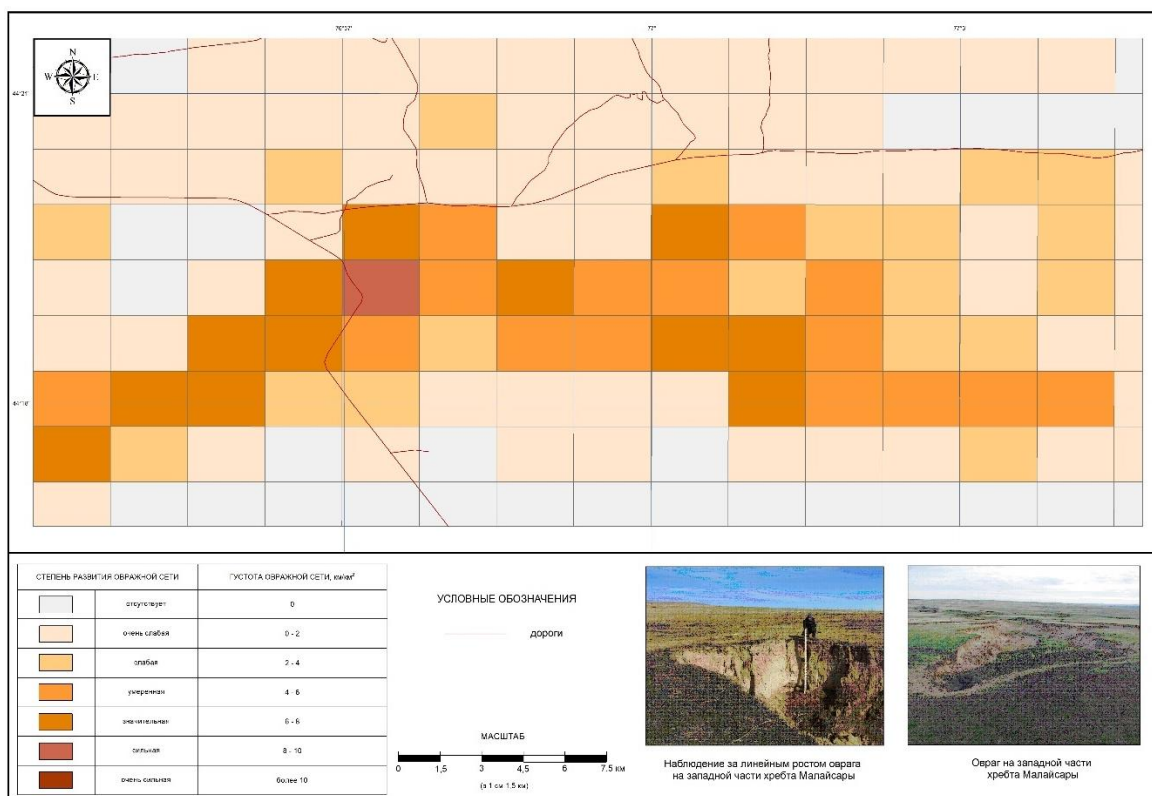


Рисунок У.5 – Линейный рост и площадное развитие оврага №5
на ключевом участке №4

ПРИЛОЖЕНИЕ Ф

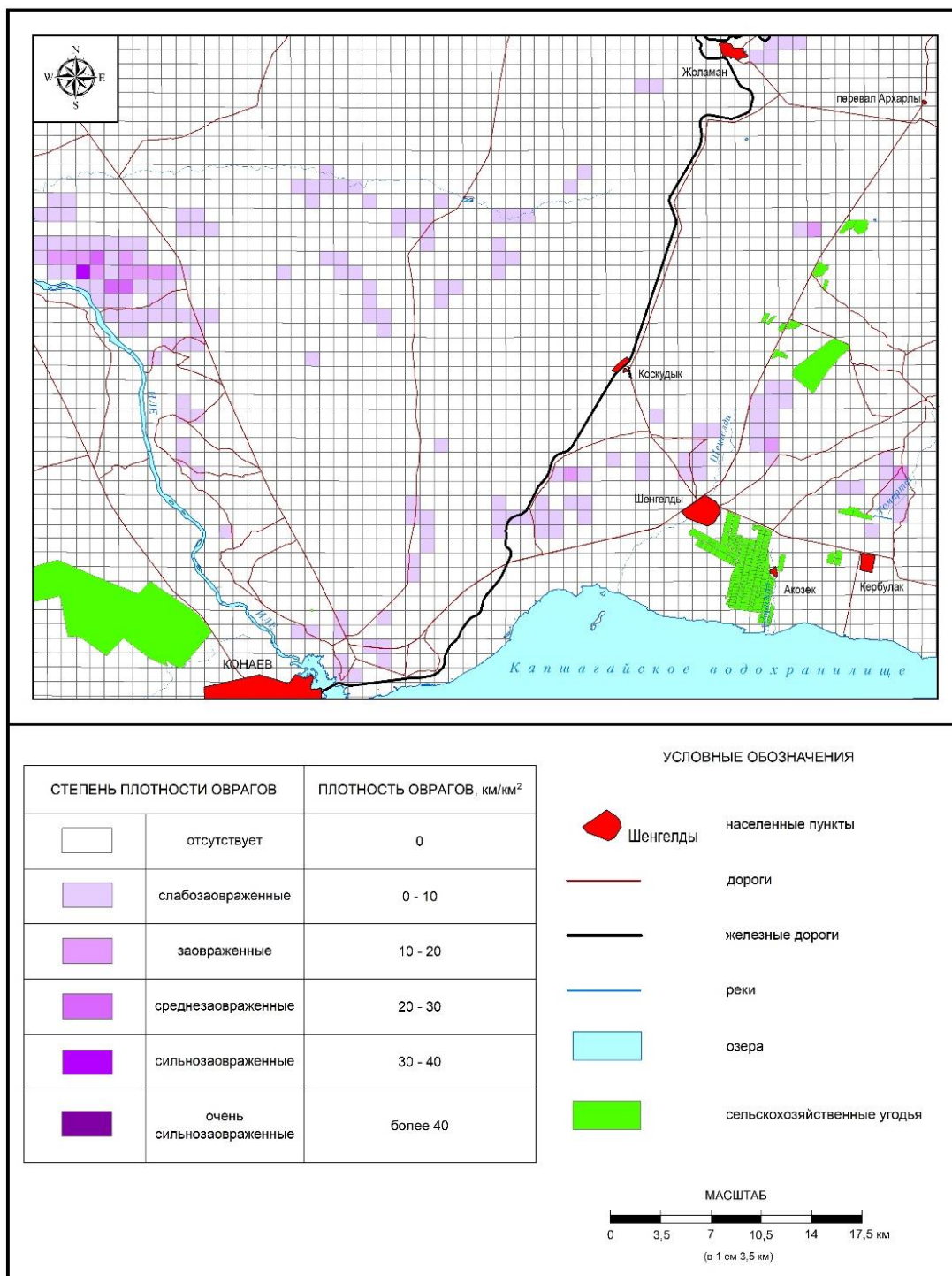


Приложение Ф.1 – Карта густоты овражной сети участка №3, км/км²

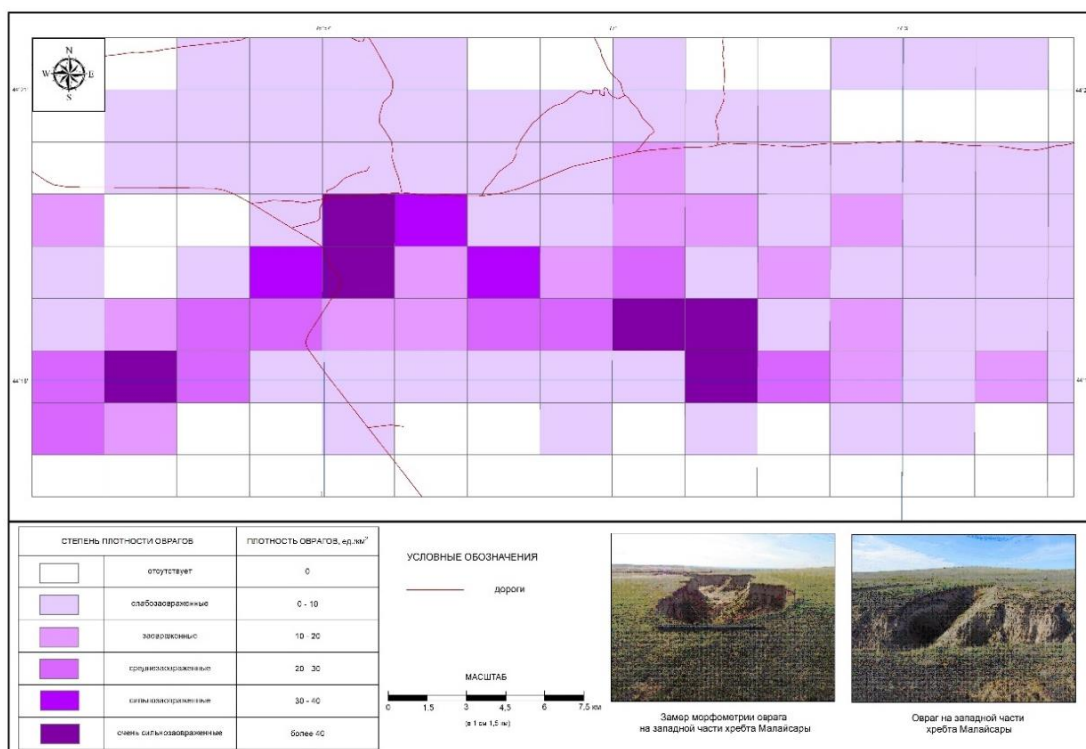


Приложение Ф.2 – Карта густоты овражной сети участка №4, км/км²

ПРИЛОЖЕНИЕ X



Приложение X.1 – Карта плотности оврагов участка №3, ед/км²



Приложение X.2 – Карта плотности оврагов участка №4, ед/км²