

ГЕОЛОГИЯ ИЛИМДЕРИ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ
GEOLOGY SCIENCES

Абдыбачаев У.А.

**ТОО БОРЛОРУНДАГЫ ЖЕР КӨЧКҮЛӨРДҮ ТҮЗҮҮНҮН ШАРТТАРЫН
 БААЛОО ҮЧҮН ЖЫШТЫК ТАЛДООСУ**

Абдыбачаев У.А.

**ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФОРМИРОВАНИЯ УСЛОВИЙ
 ОПОЛЗНЕВОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ НА СКЛОНЕ**

U.A. Abdybachaev

**FREQUENCY ANALYSIS FOR ESTIMATING THE
 FORMATION OF CONDITIONS OF SLIDES SENSITIVITY
 ON THE SLOPE**

УДК: 624.551.3

Изилдөөчү маалыматтарды объективдүү жана туура топтогондон кийин, аларды уюштуруу, иретке келтирүү, математикалык методдорду колдонуп иштетип жана чечмелей билиши керек. Изилдөө кырдаалынын спецификасы издөө жана тандоо методдорунун өзгөчөлүгү жана негизги өзөгү болуп саналат. Натыйжада, изилдөөчүнүн ар кандай мүмкүн болгон альтернативаларды колдонуу мүмкүнчүлүгү калыптанат жана бекемделет. Бул макалада жыштык анализи (талдоосу) Паретонун принцибинде колдонулат. Бул ыкма жер көчкүлөрүнүн пайда болушунун жана көрүнүшүнүн шарттарын баалоодо башкача көз карашты карап чыгууга мүмкүнчүлүк берет, ошондой эле жер көчкү көйгөйүн изилдөөгө изилдөөчүлөрдү тартуу үчүн дагы бир чечим катары жардам берет. Map Algebra ArcGIS куралынын жардамы менен, Сүлүктү шаарынын жана анын агломерациясы үчүн жер көчкүнүн жылышына тоо боорунун (эңкейиштин) сезгичтиги туурасында картасы түзүлдү. Алынган натыйжалардын негизинде, убакыт аралыгында интеграциялоодо жана дискуссияда, колдонууга бекемдигин аныктайт.

Негизги сөздөр: жер көчкү, жыштык талдоо, сезгичтик, бийиктиктин санарип модели, аралыктан зондоо, статистика, геомаалымат тутуму.

После объективного и правильного сбора данных исследователь должен уметь организовывать и систематизировать их, обрабатывать и интерпретировать с использованием математических методов. Специфика исследовательской ситуации является особенностью и начальной основой в поиске и выборе метода, в результате чего формируется и усиливается способность исследователя применять возможные альтернативы. В этой статье использован частотный анализ с применением принципа Парето, который позволяет взглянуть на другой подход в оценке условий формирования и проявления оползней на склонах, а

также содействие в качестве еще одного решения для привлечения исследователей в изучении оползневой проблемы. И на основе извлеченных результатов в интеграции с временным интервалом и дискуссий позволит определить его устойчивость к применимости.

Ключевые слова: оползни, частотный анализ, восприимчивость, цифровая модель рельефа, дистанционное зондирование, статистика, геоинформационная система.

After objective and correct collection of data, the researcher must be able to organize and structure them, process and interpret them using mathematical methods. The specificity of the research situation is a feature and an initial basis in the search and choice of a method, as a result of which the ability of the researcher to apply possible alternatives is formed and strengthened. This article uses frequency analysis using the Pareto principle, which allows you to look at a different approach in assessing the conditions for the formation and manifestation of landslides on slopes, as well as assistance as another solution to attract researchers in the study of the landslide problem. Using the Map Algebra ArcGIS tool, a map of slope susceptibility to landslide displacement was built for the territory of Sulukta and its agglomeration. And based on the results learned in the integration with the time interval and probably these discussions will determine its robustness to applicability.

Key words: landslides, frequency analysis, susceptibility, digital elevation model, remote sensing, statistics, geographic information system.

Введение. Региональное изучение оползней показывает, что общая активность проявления оползней как в пространстве, так и во времени сильно изменчива [1]. На одном склоне происходят массовое смещение оползневых масс, на другом соседнем количество оползней очень мала, а на другом склоне отсутствуют эти явления. Какова же природа пространственной

изменчивости геологических и физических полей, определяющих устойчивость территории? Прочностные и деформационные характеристики горных пород слагающие склоны в значительной степени определяют напряженное состояние склонов [1,2]. И изменение поля напряжений в свою очередь, сильно влияет на свойства пород в массивах, обуславливая возникновение в них различного рода дефектов (трещины, уплотнение или разуплотнение пород и т.д.). Очевидно, что значительные изменения показателей этих полей происходят в следствии перемены формы рельефа в любой исследуемой территории. Такие изменения возможны в результате активных тектонических движений [3, 4], интенсивной эрозии или абразии [5], различных видов деятельности человека (разработка карьеров, строительство автомобильных дорог и железнодорожных путей в условиях расчлененного горного рельефа, и т.п.) [6,7,8], гидрометеорологические условия в виде выпадения аномальных осадков [9,10] значительно может влиять на режим многих других существующих факторов, такие как колебание уровня воды в реках и водоемов [11], подземных вод [12,13], увеличение веса горных массивов и взвешивающего эффекта [14] и т.д. и как следствие непосредственного смещения масс. Однако все эти виды воздействия несут периодический характер как более продолжительный и сложный процесс.

Оползень – это следствие измененной формы рельефа, и в каждом частном случае мы изучаем его как геологическое тело. Каждый оползень имеет определенные размеры, а само оползневое тело состоит из множества точек на плоскости и в пространстве, и,

следовательно, разные точки тела находятся в разных местах пространства. Итак, положение точки в пространстве определяют – координаты, а оползень как мы знаем это процесс смещения горных масс под влиянием силы тяжести, а соответственно это изменение положение точек относительно других, т.е. их координаты, изменяются.

Чтобы изучать изменение положения тела в пространстве, нужно прежде всего определить само это положение.

В этой работе рассматривается анализ положения точки, как простейшее идеализированное тело, извлеченное из множества точек полигонального объекта, на поверхности оползня и его влияние на общие результаты исследуемой совокупности по распространению оползней на изучаемом участке.

Количественная оценка точек по классификационному признаку будет рассматриваться через частотное распределение статистической единицы, так как чем чаще встречается данное значение в совокупности, тем выше вероятность проявления это признака будет в природе.

Выбор и обоснование. Выбор положения точки, на оползневом теле, для последующего пространственного анализа исследуемой совокупности основывается на вертикальной составляющей строения оползня, показан на рисунке 1 справа. Набор анализируемых точек подразделяется на три категории и обозначены как: MIN, RAND, MED и MAX, что значение этих точек на оползне будет соответствовать минимальное, случайное, медиана и максимальное.



Рис. 1. Расположение точек в пространстве на оползневом теле. Оползень Башы, с.Алмалуу-Булак, Джалал-Абадская область, сошёл 27.04.2012, объем ≈ 1.6 million m^3 . N41.093417, E73.015397. Фото с дрона, Dr. R. Behling.

При этом была учтена теория стадийности по Емельяновой Е.П. [15] указанная в столбце #4 таблицы 1, а также опыт автора, полученный при наземных обследованиях.

Таблица 1

Определение точки		Теория стадийности оползневой процесса по Е.П. Емельяновой (1972)	
Категория	Положение	Стадия	Описание
#1	#2	#3	#4
MAX	Точка располагается в головной части оползня с максимальным числовым значением	Стадия подготовки к основному смещению	Образование трещин отрыва по контуру формирующегося оползня; просадка оползневой массы по трещинам отрыва и др.
MED	Значение точки Медиана, чаще расположена в средней части оползня	Стадия основного смещения Стадия вторичных смещений	Оползневое тело, сместившись, находится на различных частях склона по плоскости скольжения, но, не достигнув базиса разгрузки и при этом может быть во временном стабильном состоянии; находится в движении; оползень испытывает незначительные подвижки, деформации при воздействиях аномальных факторов оползнеобразования;
MIN	Минимальное значение точки в зоне аккумуляции, чаще в языковой части	Стадия стабилизации	Оползень достиг базиса разгрузки и коэффициент его устойчивости больше единицы; вторичные деформации не проявляются.
RAND	Маркирование точки случайным образом с последующим извлечением значения (имеет различные в пространстве положения на оползне).		
*** Продолжительность развития каждой стадии, т.е. период времени между переходом от одной стадии в другую, может быть весьма различна, и для разных оползней составляет от нескольких секунд до нескольких десятков лет.			

Для каждой точки были присвоены числовые характеристики форм рельефа, такие как экспозиция («Aspect»), высота («Altitude»), уклон («Slope») и возраст геологических отложений («Geology»), и был проведен классификационный анализ, для графической визуализации сгруппированных значений была применена диаграмма Парето [16,17,18].

Исследуемый район. Район исследований расположен в Юго-Западной части территории Кыргызской Республики (рис. 2). Определяются географическими координатами N39 ° 55 'и E 69 ° 35', где высота по данным ЦМР варьирует между значениями 940 и 2275 м над уровнем моря (WGS84_ UTM_зона_42N).

Осадки за период октябрь-март здесь около 190 мм, испаряемость за тот же период 284,6 мм. И коэф-

фициент увлажнения по району исследования составляет 0,668 [19].

Чаще всего, активизация оползней, здесь отмечается - весной, в период выпадения интенсивных продолжительных атмосферных осадков [20,21].

Большинство оползней, по классификации Д.Варнеса, в исследуемом районе представлены в виде Earth flow-31, Debris slide-3, Earth slide-8 и Rock topples-2, которые образовались в разное время и в разных объемах.

Общая совокупность, включенная в исследование, составляет – 152 оползня (полигональный объект), где величина площади оползней изменяется от 0,00031 до 0,277 км², со средним значением 0,023 км² и общая суммарная площадь 3,449 км² по состоянию на 2016 г.



Рис. 2. Исследуемый район г. Сулюкта и его агломерации, Баткенская область.

1. Исходные данные и методология.

1.1. Данные. Исходные данные, которые были использованы в этом исследовании указаны в таблице 2. Извлечение соответствующей информации была проведена в соответствии с рекомендуемыми

базовыми и специализированными шагами и инструментами в области ГИС по обработке сцен спутниковых изображений и цифровой модели рельефа (ЦМР).

Таблица 2

n/p	Слой данных	Описание
1.	Данные дистанционного зондирования Remote sensing Data	Landsat, оптическое разрешение 15-30 м /от 1972/09/11, 1990/08/03, 2001/07/08, 2011/03/22, 2014/05/17. Rapid Eye оптическое разрешение 6 м / от 2014/05/31 и 2010/08/01
2.	ЦМР	ALOS (5 м) / от 2015/01/15
3.	Геологическая карта	Фрагмент карты J42-IV, Масштаб 1:200 000
4.	Карта уклонов и экспозиции	Карта уклонов и экспозиции были построены с помощью инструментов Spatial Analyst в ArcGIS 10.1 извлечённые ЦМР
5.	Оползни	Этот полигональный слой данных получен на основе дешифрирования космоснимков.

1.2. Методология.

На основе полевых обследований и сцен спутниковых изображений с применением инструментов ArcGIS по прямым и косвенным признакам визуального дешифрирования был создан полигональный слой «Landslides» в векторном формате с расширением «shp». Следующим шагом был применен инструмент «Extract by mask» для слоя «Landslides», где в качестве входного растра выступает ЦМР. Затем полученный растр с использованием инструмента

«Raster to point» создаем точечное покрытие в отдельности для слоев MAX, MED и MIN.

В этом абзаце описывается последовательность для слоя «MAX». В созданном точечном слое, выделяется контур оползня и в атрибутивной таблице по столбцу «Grid code» применяется инструмент «Sort Descending», где расположенное на первой строчке значение остается, а остальные значения удаляются. Данный алгоритм действий необходимо провести для

каждого контура оползня в изучаемой площади, для 152 объектов.

Аналогичный алгоритм проводился для слоя MIN, но только с применением инструмента «Sort Ascending».

Для слоя MED был применен иной подход, атрибутивная таблица со значениями была скопирована в Excel, где для столбца «Grid code» была применена статистическая функция «Медиана», далее выделенное значение остается, а остальные удаляются.

Для слоя RAND, алгоритм, следующий: создается отдельный точечный слой, далее действия ведутся в сочетании с полигональным слоем «Landslides», где исследователь наносит/маркирует точки случайным образом внутри каждого «полигона-оползня». Затем для указанной выборки (152) применяется инструмент «Extract values to points».

Все указанные слои MAX, MED, RAND и MIN дополняются значениями из ранее созданных тематических растров: Aspect, Slope - были созданы с помощью среды «Spatial Analyst Tools – Surface», а фрагмент геологической карты изначально был оцифрован с заполнением атрибутивных данных, и затем данная поверхность была конвертирована в растр.

1.3. Анализ данных с применением математического подхода.

В этом разделе будут описаны методы и формулы, которые были применены.

Все значения для первичных вариационных рядов MAX, MED, RAND и MIN были экспортированы в Excel и скомпилированы на одной странице.

Изначально необходимо оценить весь вариационный ряд по каждому признаку и определить количество групп (N) с равными интервалами, для этого была применена формула Стэрджеса [23].

$$N=1+3,322(Lg X) \quad [1];$$

где X – это объем совокупности.

Вычисление группировки по интервалам значений (INT) определяется по формуле 2

$$INT=Wn/N \text{ или } INT = (Xmax - Xmin)/N \quad [2];$$

где Wn – это размах или полученная разница между наибольшим (Xmax) и наименьшим (Xmin) из этих значений в ряде.

Далее применяя фильтры подсчитываются частоты для каждой выделенной группы и исследуемого

признака и затем формируется таблица частот (fi), накопленной частоты ($\sum fi$), частоты (W) и её кумулятивная частоты ($\sum Wi$) по формуле [3] [24].

$$W=fi/\sum fi \quad [3];$$

По завершению формирования таблицы исследуемого признака применяется диаграмма Парето для отображения влияния каждой группы на итоговое значение.

1.4. Создание диаграмм, извлечение и составление карты восприимчивости.

По результатам описанного выше алгоритма для каждой характеристики с извлеченными значениями применяется принцип Парето, и для каждой категории формируются диаграммы распределения полученных групп.

Кроме того, для интервала, указывающего наивысшую абсолютную частоту (f) появления в выбранной группе каждой характеристики, растровое изображение составляется отдельно.

Построение карты реализовано с помощью инструмента Raster Calculator-Map Algebra (ArcGIS), где растровые слои создаются для каждого уровня и для каждого объекта с последующим последним использованием инструмента Overlay (ArcGis).

2. Интерпретация результатов.

Представленные диаграммы построены, как описано в разделе 4.3. данной рукописи. На нижеследующих диаграммах (рис. 3) для определенных интервалов значений показаны частоты встречаемости, где левая ось представляет значения относительной частоты, а правая ось (вспомогательная, красная линия) - накопленная частота.

В категории MAX для интервала 7.1-13.2° (рис.3) интерпретация, следующая: в 36% случаев на склонах с уклоном от 7,1 до 13,2° образуются оползневые трещины и образуются стенки срыва.

Для категории MIN в диапазоне 6,75-13,5° интерпретация такова, что оползневой «язык» в 57% случаев достигает поверхности с уклоном от 6,75 до 13,5°.

Для категории MED в пределах 19-23,75° - образование поверхности перемещаемого материала в зонах аккумуляции и разгрузки, также в этом случае существует вероятность остаточных перемещений массы и частота случаев около 25%.

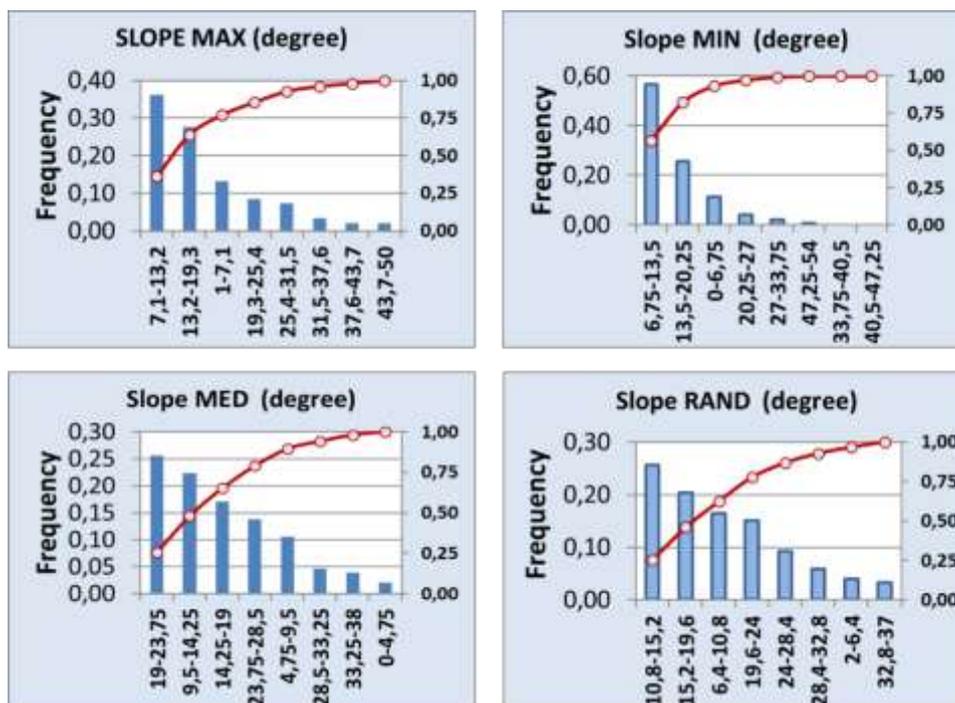


Рис. 3. Частотное распределение согласно классификационному критерию "SLOPE" для категорий "MAX", "MIN", "MED" и "RAND".

Из-за большого количества полученных диаграмм с характеристиками ниже будет представлена только краткая информация с указанием наивысшей абсолютной частоты (f) проявления (табл. 3):

Таблица 3

Критерий	КАТЕГОРИЯ			
	MIN	MED	RAND	MAX
Aspect/ Экспозиция	292,5-337,5 ($f=52$)	292,5-337,5 ($f=48$)	292,5-337,5 ($f=48$)	292,5-337,5 ($f=48$)
Altitude (м)/ высота	1265,7-1368,6 ($f=45$)	1304,9-1411,2 ($f=51$)	1307-1412,6 ($f=53$)	1361,8-1473,4 ($f=50$)
Slope / уклон (град)	6,75-13,5 ($f=86$)	19-23,75 ($f=39$)	10,8-15,2 ($f=39$)	7,1-13,2 ($f=55$)
Geology/ геология	Pg-N ($f=82$)	Pg-N ($f=81$)	Pg-N ($f=81$)	Pg-N ($f=84$)

Необходимо уточнить, что значение «292,5-337,5» соответствует Северо-Западной экспозиции, а по данным «Geology» это плотные глинистые отложения палеоген-неогенового периода (Pg-N), выступающие в роли водонепроницаемого слоя, а на некоторых оползнях вовлечены в смещение [21].

По результатам проведенного анализа были выявлены интервалы с наибольшей частотой встречаемости:

1. Для всех категорий по «Aspect» - наибольшая повторяемость наблюдается в интервале «292,5-337,5», это свидетельствует о том, что в 32-34% случаев оползни развиваются на Северо-Западной экспозиции.

2. Также по критерию «Geology» - в 53-55% случаев оползни имеют развитие в отложениях Pg-N.

3. «Slope» – в категориях «MED» распространите в интервале «19-23,75» указываются в 25,7% случаев; в категориях «MAX» - «7,1-13,2» и «MIN» - «6,75-13,5» наблюдается значительная разница в величине распределения 36% и 56,6%, соответственно и для «RAND» это около 25,7% от всех значений в интервале «10,8-15,2» (рис. 4).

4. «Altitude» - что касается этого признака, то здесь отмечено распределение по всей вертикальной составляющей (рис. 4).

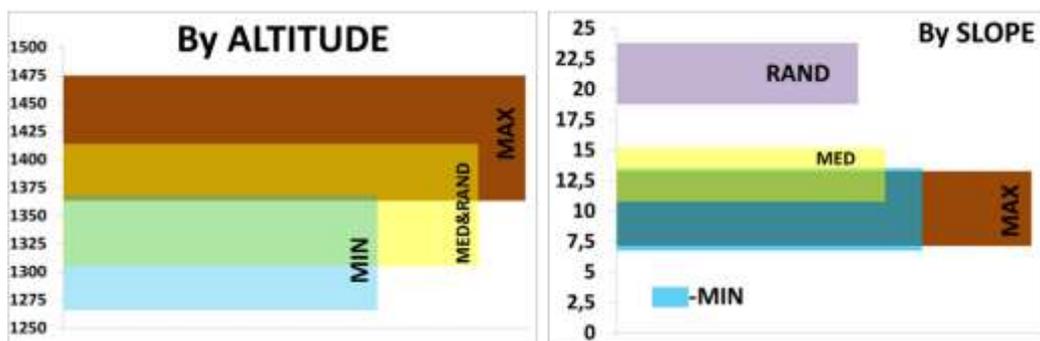


Рис. 4. The relative distribution of categories MAX, MED, MIN & RAND according to the classification feature of “Altitude” and by “Slope”.

Основываясь на результатах по каждому признаку с извлеченными значениями и в каждой категории, была создана карта вероятностной восприимчивости к оползневому смещению (рис. 5).

Разработанная карта ранжируется по уровням R (красный), Y (желтый), G (зеленый) для каждой категории. Ранжирование проводится на основании полученных диаграмм (рис. 3) в порядке убывания, поэтому для «Slope» в категории «MAX» красный уровень соответствует «7,1-13,2», для желтого «13,2-19,3», а для зеленого «1-7,1». Далее, для каждой функции все

соответствующие значения определяются в соответствии с выбранными уровнями. Интерпретация распределения пикселей на результирующих картах (рис. 5) сводится к следующему в категории «MAX», предполагается, что для уровня, обозначенного как P_Max_R, склонность склонов к образованию трещин будет распределена в областях, обозначенных красными пикселями/точек с общей площадью захвата 1 280 км². Для желтого уровня (Y) склонность территории к образованию трещин определяется на участках с общей площадью 0,274 км².

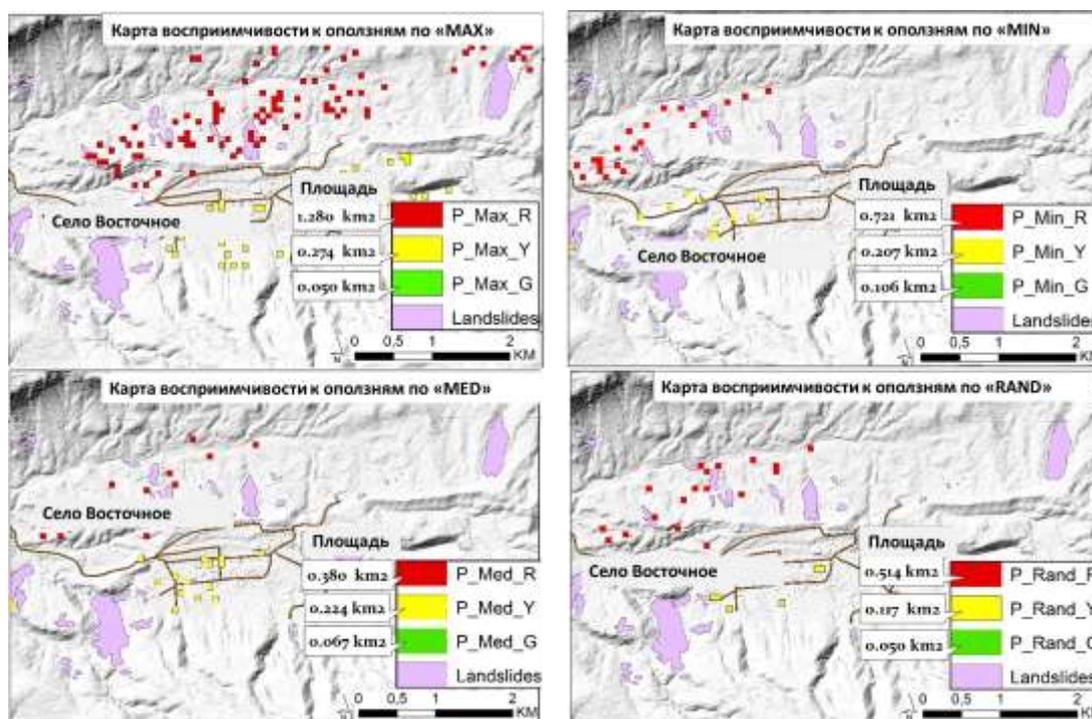


Рис. 5. Полученные карты вероятностной восприимчивости к оползневому смещению с размером ячейки 6х6 м / пикс: «MAX» - места, где могут образоваться трещины; «MED» & «RAND» - различная информация (плоскость поверхности скольжения, головная часть зоны аккумуляции т.д.); «MIN» - образование оползневой «языка» (зона аккумуляции) и их оценка по общей площади. Карты построены для территорий в села Восточное и города Сулукта.

Для карты с категорией «MIN» интерпретация следующего образом, подверженность склонов к образованию оползневого языка будет распределена в указанных местах, ранжированным по цвету, а отображаемые значения соответствуют общей площади для каждого выбранного уровня.

В этом исследовании оценивался потенциал статистической модели на основе ГИС. Типы оползней очень разнообразны, и, как следствие, оценка подверженности оползням может быть достигнута только с использованием конкретной модели. Следовательно, определение доминирующих типов оползней и выбор подходящей модели для картирования чувствительности оползней в региональном масштабе могут сильно зависеть от выбора причинных факторов.

3. Обсуждение и выводы.

В данной рукописи (статье) акцент был на подробном описании всего алгоритма тех действий, в следствие которых были получены результаты исследования. Внимание сосредоточено на концепции простого и легкого извлечения и анализа данных, основанной на частотном анализе, как основа при использовании метода аналогий. И «..в частности, этот принцип может помочь в выборе или исключении различных других оценочных понятий ...» [17], которые позволили применить в исследовании оползневой проблемы.

Использование этого метода, в качестве начальной оценки позволяет исследователю увидеть и сосредоточить внимание, а уже потом оптимизировать действия для дальнейшего использования. Например, в ходе исследования была выявлена определенная закономерность формирования элементов тела оползня, но не нашла отражения в разделе «результаты». Таким образом, по частоте встречаемости в категории «Мах» в интервале «7,1-13,2» хорошо коррелирует между «Slope» и экспозицией (Aspect) для критерия «Северо-Запад» (Aspect), где значение коэффициента детерминации (R^2) превышает 0,8 и позволяет судить о сильной связи.

При этом иногда в исследовании всегда присутствуют «белые пятна», которые могут повлиять на конечный результат, здесь этим «пятном» может выступать качество дешифрирования при формировании контура оползня на спутниковом снимке, а также при использовании цифровой модели местности (ЦМР) различного разрешения, вовлеченные в калькуляцию.

Некоторые исследователи указывают в своих статьях, что после выпадения осадков «... появились трещины или трещины продолжали расширяться / увеличиваться (трещины продолжали увеличиваться до тех пор, пока материалы откоса не сдвинулись вниз под действием силы тяжести) [25] или прогрессивно

нарастающие деформации на склоне в начальной стадии развиваются в головной части оползня (уступ) и как один из отличительных морфологических признаков оползня здесь часто появляются трещины [2, 26], и «.. при изучении оползня одним из важнейших элементов исследования должна быть схема обнаружения основных (основных) трещин и анализ на ее основе направления сил, действующих на оползневой массив» [27, 28].

Исходя из специфики исследований и вышеизложенного в этом разделе, предлагается использовать категорию МАХ в качестве предиктора при создании карты подверженности смещению оползней.

За период 2015-2019 гг. на исследуемой территории произошло 3 оползня: 1 - 29 июня 2015 г. в районе кладбища Ульмас-Ата (после продолжительных осадков), 2-20 мая 2016г. (из-за проливных дождей повреждено 1 здание) и 3-9 апреля 2017г. в ходе строительства автомобильной дороги при разработке откоса произошло обрушение.

Мы сравнили созданную карту категории «Макс» с этими тремя событиями, используя метод наложения на оптические изображения Google Планета Земля. Следует отметить, что выборка сформирована на основе 152 оползней, произошедших ранее до 2015 года.

В заключение резюмирую следующее: только одно из трех событий соответствует условиям сформированной карты восприимчивости.

Для анализа этого исследования использовались только 4 особенности условия образования, и увеличение количества характеристик может повысить точность карты восприимчивости.

Литература:

1. Кюнтцель В.В. Причины ритмичности гравитационных процессов. / Инженерная геология. Вып.1. ВСЕГИН-ГЕО, 1982. - С. 69-72.
2. Золотарев Г.С., Федоренко В.С., Шешеня Н.Л., Основные закономерности развития обвалов и оползней в горноскладчатых областях, методы их изучения и прогноза. Вестник Московского университета. - Вып. №3. - 1969. - С. 3-15.
3. Chen X.L., Ran H.L., and Yang W.T. Evaluation of factors controlling large earthquake-induced landslides by the Wenchuan earthquake. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 3635-3657, 2012. <https://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/12/3645/2012/nhess-12-3645-2012.pdf> /doi:10.5194/nhess-12-3645-2012.
4. Xu C. et al.: Landslides triggered by the 12 January 2010 Port-au-Prince, Haiti, Mw= 7.0 earthquake. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14. - 1789-1818, 2014. www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/14/1789/2014/doi:10.5194/nhess-14-1789-2014
5. Mazaeva O., Khak V., Kozyreva E. Model of erosion -

- landslide interaction in the context of the reservoir water level variations (East Siberia, Russia): Factors, environment and mechanisms. *J. Earth Syst. Sci.* 122, No. 6, December 2013. - PP. 1515-1531. Indian Academy of Sciences. <https://www.ias.ac.in/article/fulltext/jess/122/06/1515-1531>
6. Malgot J., Baliak F.: Influence of human activity on the development of landslides in Slovakia. *Geograficky casopis*, 54, 2002, 1, 20 figs., 10 refs. <https://www.sav.sk/journals/uploads/05131140Malgot.%20Baliak.pdf>
 7. Kopecký M., Frankovská J.: Geotechnical problems of expressway construction in landslide area in East Slovakia. Proceedings of the 19 th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Seoul 2017. Technical Committee 208. Page 2167-2170. <https://www.issmge.org/uploads/publications/1/45/06-technical-committee-14-tc208-21.pdf>
 8. Kawamura Y. Landslides along National Roads in Central Highland in Sri Lanka: Review on Current Situation and Suggestion for Further Development of Landslide Mitigation along Highways in Sri Lanka. https://www.jica.go.jp/srilanka/english/office/topics/c8h0vm00009qnvwr-att/151216_04_01.pdf
 9. Marques R., Zêzere J., Trigo R., Gaspar J., Trigo I. Rainfall patterns and critical values associated with landslides in Povoação County (São Miguel Island, Azores): relationships with the North Atlantic Oscillation. *Hydrological processes* 22, 478-494. - (2008) Published online 29 October 2007 in Wiley InterScience. DOI: 10.1002/hyp.6879. <http://idlcc.fc.ul.pt/pdf/R.%20Marques.%20et%20al.%202008.pdf>
 10. Zhang J., Felzer B.S., Tara J. Troy. Extreme precipitation drives groundwater recharge: The Northern High Plains Aquifer, central United States, 1950-2010. First published: 01 February 2016. <https://doi.org/10.1002/hyp.10809>. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/hyp.10809>
 11. Hsin-Fu Yeh and Yi-Jin Tsai. Effect of Variations in Long-Duration Rainfall Intensity on Unsaturated Slope Stability. *Water* 2018, 10, 479; doi : 10. 3390/w10040479. <http://www.mdpi.com/journal/water>.
 12. Montety V., Marc V., Emblanch C., Malet, J.-P., Bertrand C., Maquaire O., Bogaard T.A. Identifying the origin of groundwater and flow processes in complex landslides affecting black marls: insights from a hydrochemical survey. *Earth Surface Processes and Landforms*. *Earth Surf. Process. Landforms* 32, 32-48 (2007). Published online 15 June 2006 in Wiley InterScience. DOI:10.1002/esp.1370. http://www.ano-omiv.cnrs.fr/images/Publications/PDFs/Super_Saize/JournalManuscripts/2007-DeMontety_identifying.pdf
 13. Taib S.N.L., Selaman O.S., Chen C.L., Lim R., Awang D.S. Ismail. Landslide Susceptibility in Relation to Correlation of Groundwater Development and Ground Condition. *Hindawi. Advances in Civil Engineering Volume 2017*, Article ID 4320340, 7 pages, <https://doi.org/10.1155/2017/4320340>. <https://www.google.com>
 14. Yalcin Ali. The effects of clay on landslides: A case study. *Applied Clay Sciences* 38 (2007). - 77-85. www.elsevier.com/locate/clay.
 15. Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процессов. - М.: Недра, 1972. - С. 308.
 16. Newman M.E.J. (2005) Power laws, Pareto distributions and Zipf's law. *Contemporary Physics.*, Vol. 46 No. 5, September-October 2005, 323-351 <http://www.thp.uni-koeln.de/krug/teaching/Dateien/WS2011/Newman.pdf>
 17. Kaplow L. Pareto principle and competing principles. The New Palgrave Dictionary of Economics, 2nd Edition. Discussion Paper No. 519. Harvard Law School Cambridge, MA 02138.08/2005/ http://www.law.harvard.edu/programs/olin_center/papers/pdf/Kaplow_519.pdf
 18. Пахомов А.П. Применять или не применять принцип Парето на практике? Вестник РУДН, серия Экономика, 2010. - №1. - Pakhomov A.P. The 80/20 principle: to use or not to use. Peoples' Friendship University of Russia, Economic, 2010, №1.
 19. Киргизский Государственный институт по проектированию водохозяйственных объектов «КИРГИЗГИПРО-ВОДХОЗ» Книга 3. Отчет об инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях оползней (текст). - Фрунзе, 1987. - 236 с.
 20. Ибатулин Х. В. Мониторинг оползней Кыргызстана. - Бишкек: МЧС КР, 2011. - С. 145.
 21. Abdybachev U., Moldobekov B.D., Ormukov Ch. Modern map of landslide Hazard for Sulukta town and its agglomeration area, south-west mountainous margins of the Fergana Basin. – Advancing Culture of Living with Landslides. Volume 2 Advances in Landslide Science Set 1. World Landslides Forum #4. ISBN 978-3-319-53497-8. Springer International Publishing. 2017. - 779-785 pp.
 22. Highland L.M., Bobrowsky Peter, 2008, the landslide handbook – A guide to understanding landslides: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129 p.
 23. Sturges H. (1926). The choice of a class-interval. *J. Amer. Statist. Assoc.*, 21. <http://www2.esalq.usp.br/departamentos/lce/arquivos/aulas/2013/LCE0216/Sturges1926.pdf>
 24. Середин В.В. Математические методы в гидрогеологии и инженерной геологии: курс лекций. Пермский государственный университет. - Пермь, 2011. - 120 с.: иллюс.
 25. Yamagishi H., Horimatsu T., Kanno T., Hatamoto M. Recent landslides in Niigata Region, Japan. https://japan.landslide-soc.org/e-content/Recent_landslides_in_Niigata_region.pdf
 26. Мелешко А.В. О тренде оползневых процессов юга Кыргызстана. / Наука и новые технологии, №6. - 2000, I часть. - С. 83-86.
 27. Тер-Степанян Г.И. Классификация оползневых трещин. Инженерная геология. / Известия Академии наук Армянской ССР. - Выпуск №5. - 1958.
 28. Ritchie M. Recognition and Identification of Landslides. Chapter Four. <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/sr29/29-004.pdf>