

Опасные экзогеодинамические процессы Қауіпті экзогеодинамикалық процестер Dangerous exogeodynamic processes

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-3-105-116.36>

МРНТИ 38.47.51
УДК 551.3

В. П. Благовещенский¹, А. С. Есжанова^{*2}, А. К. Толепбаева³, У. Р. Алдаберген⁴

¹ Д.г.н., главный научный сотрудник

(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; victor.blagov@mail.ru)

^{2*} К.г.н., доцент, ведущий научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; azhar.yeszhan@gmail.com)

³ Научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; akmaral1980@mail.ru)

⁴ PhD докторант, младший научный сотрудник (КазНУ им. аль-Фараби, АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; aldabergen_u@mail.ru)

ОЦЕНКА РИСКА ОПОЛЗНЕЙ И РАЗРАБОТКА ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ТЕКЕЛИ

Аннотация. Горные территории Казахстана характеризуются активным проявлением опасных процессов, которые в районах с высокой плотностью населения формируют высокий риск человеческого и материального ущерба. Наиболее репрезентативным способом изучения локальных оползней является использование сочетания традиционного полевого метода и дистанционного зондирования и ГИС. Приведены результаты наземного полевого обследования территории с дальнейшим анализом риска оползней в регионе Текели с применением методов ГИС-картографирования и данных ДЗЗ и выработкой кратко- и долгосрочных рекомендаций по защите людей и имущества. При исследовании территории города Текели на основе геологических, геоморфологических, метеорологических данных, космоснимков, открытых глобальных данных и ретроспективных случаев оползней оценка риска оползней нашла подтверждение при полевом обследовании. Проведена ортофотосъемка при помощи квадрокоптера, опрошены местные жители и административные лица. Взяты пробы грунта для гранулометрического анализа в точках с высоким риском схода оползня с выявленными трещинами в зоне отрыва. Методика оценки оползневого риска основана на использовании мирового опыта исследований. Конечным результатом является таблица, объединяющая все рекомендации для каждого оползнеопасного участка.

Ключевые слова: оползни, оценка оползневого риска, чрезвычайная ситуация, полевые исследования, защитные мероприятия, ГИС, Текели.

Введение. Практика показывает, что снижение риска оползней наиболее эффективно при осуществлении на местном (отдельный склон, местность) или региональном уровне. В локальном масштабе разработка мер по снижению риска, например системы раннего оповещения, может основываться на ряде оптимальных сценариев и состоит из четких шагов – начиная с оценки вероятности их возникновения, оценки объема и масштаба оползня, оценки потерь, сравнения оцененного риска с критериями принятия риска/толерантности к риску, реализации соответствующих мер по снижению риска при необходимости. На практике такого уровня строгости придерживаются при управлении риском оползней в развитых странах. Однако в развивающихся странах системы раннего предупреждения и меры по смягчению последствий минимальны [1, 2]. Во многих странах, где есть районы с высокой опасностью оползней, отсутствуют необходимые законы и правила для определения приоритетов и реализации плана по снижению риска оползней. Часто утверждается, что «нужна катастрофа, чтобы получить ответную политику», и тематические

исследования управления рисками оползней в разных странах показывают связь между частотой бедствий и прогрессом и сдвигами в управлении рисками оползней [3].

Бедствия могут катализировать моменты изменения целей, политики и практики управления рисками. Все чаще процессы принятия решений органами власти, отвечающими за снижение риска оползней и других опасностей, переходят от «экспертных» решений к включению общественности и других заинтересованных сторон [4].

Горные регионы, обрамляющие юго-восток Казахстана, имеют территории с высокой оползневой уязвимостью. Густонаселенные районы в низкогорной и предгорной части, где природные и антропогенные условия способствуют возникновению опасности проявления оползней, являются более уязвимыми в плане материального и человеческого ущерба. Так же, как и во многих странах мира, где есть районы с высокой опасностью оползней, в Казахстане наблюдаются несовершенство законодательной базы, систем раннего предупреждения и мер по смягчению ущерба, а также застройка опасных территорий без соблюдения элементарных защитных стандартов. Это может приводить к фатальным последствиям. Так произошло 15 мая 2022 года на территории города Текели, когда в результате оползня погиб ребёнок 5 лет, полностью и частично разрушено 5 домов. В связи с этим случаем по заданию руководства города нами проведено специализированное обследование участка произошедшего оползня и возникла необходимость в более детальном исследовании ещё 7 потенциально опасных участков этого населенного пункта. В этой связи несомненна научная и практическая ценность данного исследования, результаты которого могут быть экстраполированы на другие оползнеопасные регионы страны и использованы при разработке стратегии противооползневой защиты уязвимых объектов.

В данном районе и раньше фиксировались отдельные случаи оползневых событий, но не проводились детальные полевые исследования. Поэтому отсутствуют количественные региональные или провинциальные карты опасности для принятия обоснованных решений в программах развития инфраструктуры в оползнеопасных регионах. Существуют обобщенные и устаревшие карты риска опасных процессов для обширных территорий, однако отсутствуют количественные региональные или провинциальные карты оползневой уязвимости. Частично это удалось осуществить в рамках этого локального исследования, однако проведение широкомасштабных полевых исследований является финансово затратным. Поэтому на следующем этапе изучения необходимо ещё больше расширять применение методов дистанционного зондирования и ГИС-анализа для оценки уязвимости обширных и труднодоступных территорий.

Материалы и методы исследования. Город Текели с населением более 30 тыс. человек расположен на юго-востоке Казахстана в западной части хребта Жетысу Алатау в месте слияния рек Кора, Чажа и Текели, которые образуют реку Каратал (рисунок 1).

Большая часть города расположена на дне широкой долины реки Каратал ниже слияния рек Кора и Чажа. На выходе из гор, на высоте 980 м над уровнем моря, ширина дна долины составляет 1500 м. К востоку долина сужается и через 5 км, в месте слияния рек Кора и Чажа, на высоте 1030 м, дно долины имеет ширину 200 м.

Геоморфология. Особенность геоморфологии этого региона – ступенчатое строение склонов. Морфологически выделяется 2 ступени: низкие предгорья с мягкоувалистым и плосковершинным строением с абсолютными отметками высоты от 1030 до 1600 м и высокие предгорья с увалистым плато от 1600 до 2750 м. Левый склон долины реки Каратал более крутой и более густо изрезан логами. Оползень потокового типа движения 2022 года произошел на уступе пологой предгорной террасы склона северной экспозиции левого борта долины реки Текели. Бровка террасы расположена на абсолютной высоте 1050 м, подошва – на 1022 м. Верхняя часть профиля (зона формирования оползня) на протяжении 40 м имеет крутизну 20°, нижняя часть (транзитная зона) длиной 30 м имеет крутизну около 30°. В нижней части зоны формирования оползня наблюдается перегиб склона, где крутизна склона увеличивается от 10 до 30° (рисунок 2).

В таблице 1 обобщены данные по морфометрическим характеристикам оползнеопасных участков в Текели, полученные с помощью квадрокоптера [6]. Площадь ниши отрыва оползня 15 мая (зона формирования) – 770 м², средняя глубина – 4,2 м. По данным съемки объем пришедшей в движение грунтовой массы составил 3234 м³. Оползень потокового типа возник на уступе террасы северного склона левобережья долины р. Текели на абсолютной высоте 1050 м. Верхняя часть профиля (зона формирования оползня) простирается на 40 м с углом наклона 20°. Транзитная зона длиной 30 м имеет уклон около 30°.

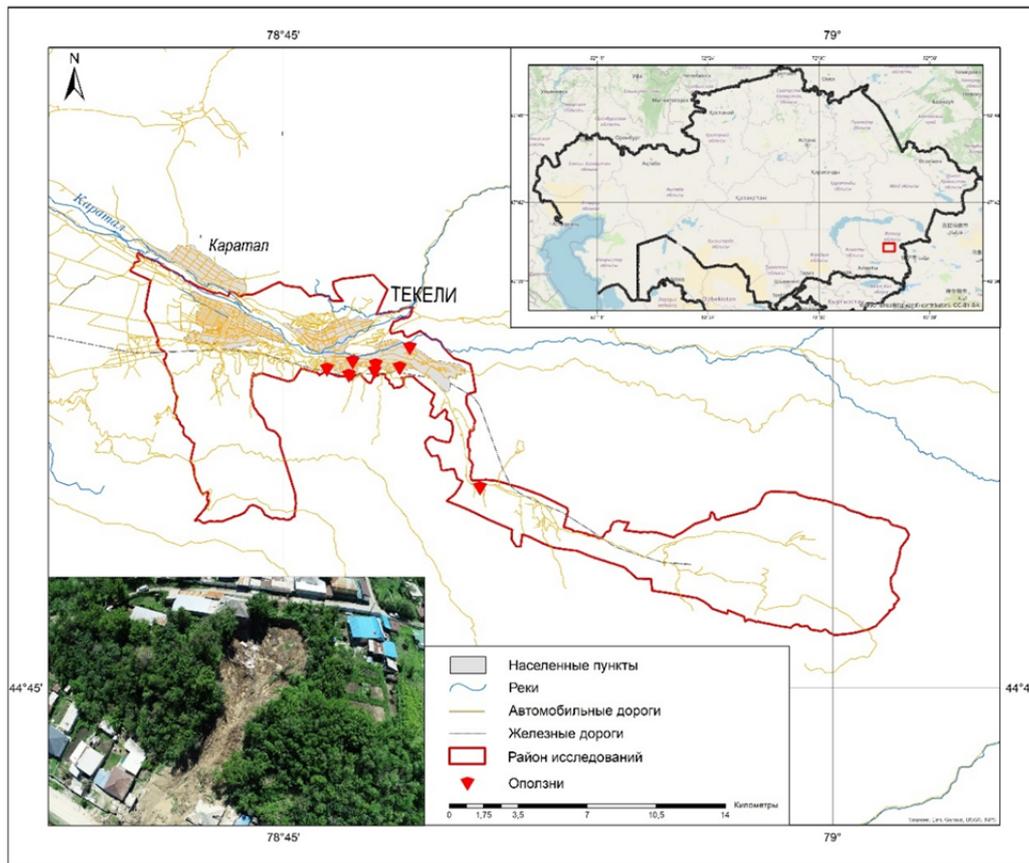


Рисунок 1 – Местоположение района исследования

Figure 1– Location of the study area

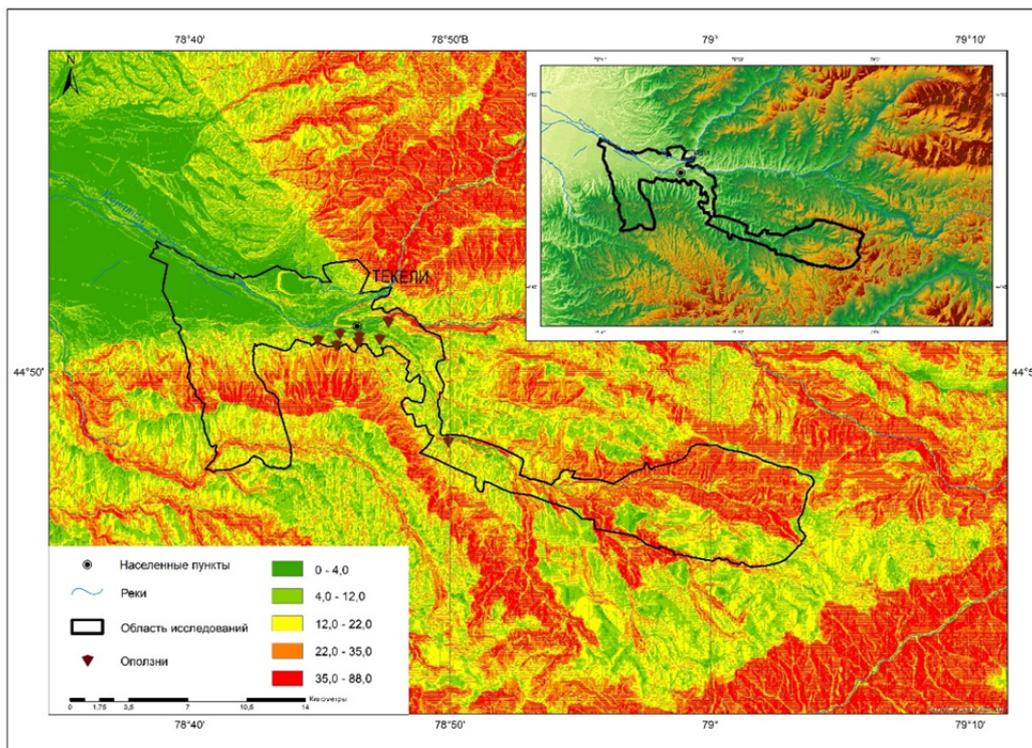


Рисунок 2 – ЦМР и карта уклонов

Figure 2 – DEM & Slope of Tekeli

Таблица 1 – Морфометрические характеристики оползнеопасных участков в Текели

Table 1 – Morphometric characteristics of landslide-prone areas in Tekeli

Участок	Координаты	Абсолютная высота, м	Крутизна склонов, град.	Длина, м	Ширина, м	Площадь, м ²
N 1 (Горняк Текели)	78°45'56" E 44°51'15" N	1060–1120	10–15	120	10	1200
N 1a (Медвежья Лапа)	78°46'11" E 44°51'10" N	1040–1140	30–35	300	50	15 000
N 2 (ул. Баумана)	78°47'30" E 44°51'10" N	1080–1120	5–7	50	25	1250
N 3 (ул. Маметовой)	78°48'10" E 44°51'14" N	1070–1100	8–16	40	10	400
N 4 (ул. Шаталова)	78°48'27" E 44°51'38" N	1058– 1075	7–8	130	65	8500
N 5 (ул. Жандосова)	78°50'22" E 44°48'53" N	1180–1220	6–19	80	60	4800
N 6 (ул. Рыскулбекова)	78°46'47" E 44°51'05" N	1120–1180	30–35	300	45	13 500
N 7 (ул. Чехова)	78°46'55" E 44°51'22" N	1010–1050	4–5	40	15	600

Сейсмотектоника и геологические условия. Регион относится к зоне высокой сейсмичности ($M > 8$), последнее крупное землетрясение магнитудой 6-7 баллов произошло в 2009 г. без человеческих жертв, но около 40 домов получили повреждения. Границы хребтов и межгорных впадин четко фиксируются продолжением глубинных краевых разломов. По зонам глубинных разломов фиксируются горизонтальные сдвиги и надвигание хребтов на котловины [7].

Оползнеопасные склоны в Текели сложены лёссовидным суглинком (рисунок 3), перекрытым развитым почвенным покровом (толщина гумусового слоя 30-50 см) с густой древесной, кустарниковой и травянистой растительностью. Особенностью лёссовидных суглинков является то,

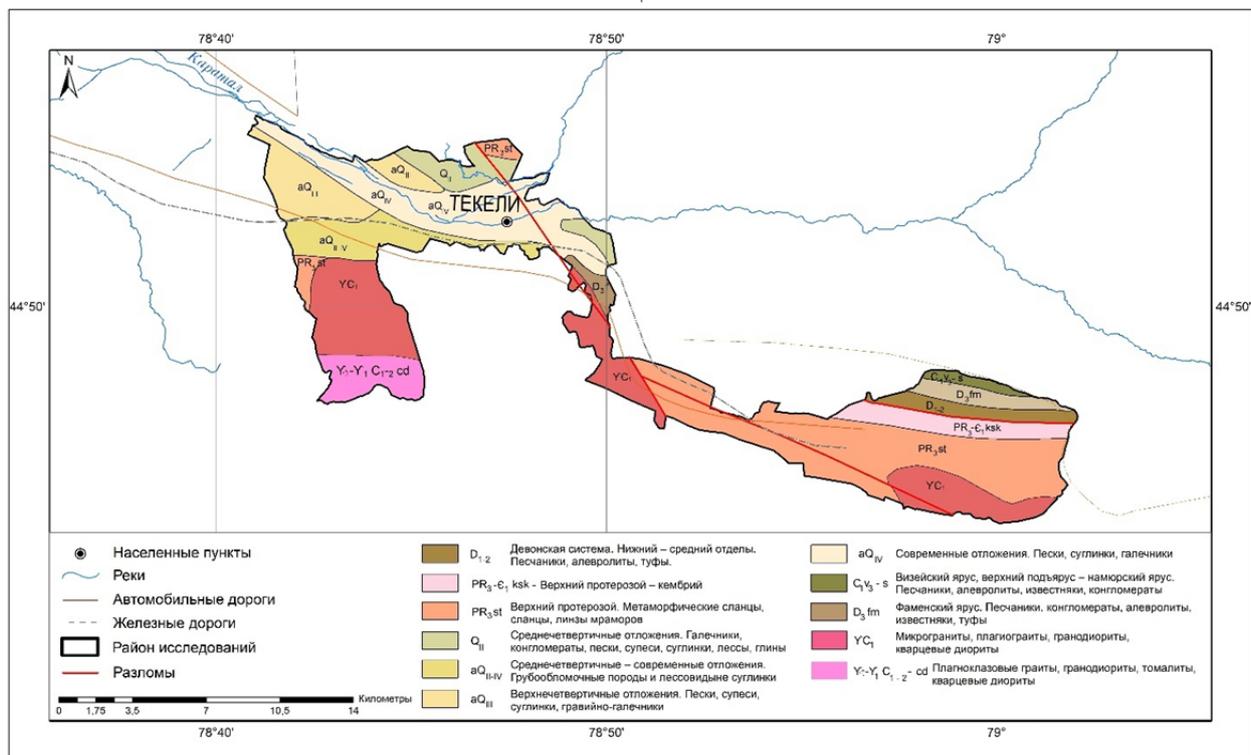


Рисунок 3 – Геологическая карта Текели

Table 3 – Geological map of Tekeli

что они в сухом состоянии очень прочные и могут выдерживать значительные нагрузки, но при увлажнении до полной влагоемкости их прочность падает более чем в два раза, и они становятся пластичными. Это свойство обусловлено высокой пористостью этих грунтов. Объем пор может достигать 45% от общего объема грунта. Поры вытянуты в виде узких вертикальных канальцев, что приводит к ярко выраженной анизотропии физико-механических свойств грунта. Его прочность на сдвиг в вертикальном направлении меньше, чем в горизонтальном, а коэффициент фильтрации больше в вертикальном направлении, чем в горизонтальном. Это приводит к высокой оползневой и просадочной опасности при строительстве на таких грунтах [8].

Метеорологические условия. Обводнение нестабильных лёссовых пород может происходить по нескольким причинам: грунтовые воды, сильные атмосферные осадки или антропогенное воздействие (протечки водопровода, неконтролируемый полив).

Самые важные метеофакторы, влияющие на состояние почвогрунтов, это количество и режим выпадения атмосферных осадков, а также величина снегонакопления и интенсивность таяния снежного покрова. Опасным признаком формирования оползней является аномально большое количество разовых, непрерывных осадков. Они приводят к резкому обводнению грунтов. Долина реки Каратал открыта на запад, навстречу влагонесущим атмосферным потокам, что обуславливает повышенное количество атмосферных осадков, выпадающих в этом районе.

В городе Текели максимальные разовые осадки наблюдаются с мая по июль (таблица 2). На метеостанции Текели абсолютный максимум суточной суммы осадков 82,2 мм отмечен в июле 1990 г. Максимальная температура воздуха в апреле равняется 33 °С, в мае – 35 °С.

Таблица 2 – Количество осадков, мм [9]

Table 2 – Precipitations amount in Tekeli region, mm [9]

Месяцы	Месячная сумма осадков, мм	Максимальное суточное количество осадков, мм (год)	Количество дней с осадками
I	40	28,5 (2000)	9,4
II	37	34,4 (1988)	8,7
III	53	52,9 (1964)	12,1
IV	95	58,6 (1994)	11,1
V	113	46,4 (1993)	13,7
VI	98	82,2 (1990)	12,9
VII	83	51,0 (1999)	12,5
VIII	44	39,2 (1970)	8,2
IX	51	36,8 (1996)	7,2
X	74	56,8 (1965)	10,0
XI	74	42,8 (1993)	10,1
XII	56	48,0 (1970)	10,0
Год	818	82,2 (1990)	125,9

Наибольшее количество осадков отмечается в мае, наименьшее – в сентябре. В среднем в течение года наблюдаются 2 дня с сильными осадками, когда суточная сумма осадков превышает 30 мм. Обычно это происходит в мае-июне.

В городе Текели, в зоне формирования оползней, максимальная высота снега на конец периода снегонакопления составляет 80 см, а запас воды в снеге – 190 мм. Этот слой воды поступает на склоны при таянии снега в марте и его необходимо добавить к максимальной мартовской сумме жидких осадков. В результате получается, что в марте на склоны может поступить до 240 мм воды, что делает этот месяц самым оползнеопасным. Высокая вероятность формирования оползней за счет естественного увлажнения сохраняется также в апреле и мае.

По данным гидропоста Р. Текели (код гидропоста 14426) за предшествующие сутки до схода оползня выпало 15,6 мм жидких осадков. Всего с начала мая текущего года сумма осадков составила 31,8 мм. На метеорологической станции Текели сумма осадков 15 мая т.г. равнялась

18,3 мм, а с 1 по 15 мая т.г. – 31,2 мм. Сумма осадков за апрель – 35,8 мм. Суточный максимум осадков 10% обеспеченности (1 раз в 10 лет) составляет 58,5 мм. Средняя сумма осадков в апреле за многолетний период была 77 мм. Анализ метеорологических данных показывает, что суточная сумма осадков 15 мая 2022 г. повторяется чаще, чем 1 раз в 10 лет, а сумма осадков за апрель текущего года составила 45% от нормы. Таким образом, метеорологическая обстановка в г. Текели в период, предшествующий оползню, не являлась аномальной.

Кроме того, по свидетельству сотрудников спасательной службы, из внутренней стенки ниши отрыва оползня на 3 м выступала оголившаяся, заглубленная на 1 м водопроводная труба диаметром 20 мм, длиной около 3 м (рисунок 4). По свидетельству сотрудников ГУ «Казселезащита» из этой трубы после схода оползня была струя воды. Эти факты ясно демонстрируют, что оползень произошел не только в результате обильных естественных осадков, но и по причине антропогенного переувлажнения грунта через трубопровод, проходящий внутри склона.



Рисунок 4 – Оползень 15 мая 2022 года:
 а – границы угрожаемой зоны оползня; б – водопроводная труба, обводнявшая тело оползня

Figure 4 – Landslide May 15, 2022:
 a – a water supply pipe hydrating the landslide body; b – boundaries of the landslide hazard zone

Землепользование. Большое влияние на переувлажнение грунтов оказывают прорывы водопроводных сетей и неисправность канализации, которые вызывают локальные просадки грунта и оползни в любое время года. Помимо природных факторов и густой заселенности лёссовых склонов усиливающим оползневую уязвимость фактором является существовавший в 1942-1996 гг. рудник полиметаллических руд, который способствовал бурному росту экономики и населения города. Увеличилась транспортная сеть в виде железной дороги и грунтовых дорог, подрезающих склоны и оказывающих вибрационное воздействие на грунты, строились жилые помещения и развивались различные объекты инфраструктуры.

На рисунке 5 видно, что проявление оползней имеет прямую связь с транспортной сетью. В настоящее время в связи с истощением (выработкой) месторождения свинцово-цинковый комбинат не функционирует, однако осталось хранилище отходов, оказывающее очень негативное влияние на здоровье местного населения и экологическую ситуацию в целом.

Использование сочетания традиционных методов полевых исследований и применения анализа ДЗЗ и ГИС-картографирования для оценки риска и содействия процессам планирования и управления считается наиболее объективным путём изучения локальных оползней. Поэтому крайне важно отслеживать известные оползни и обнаруживать потенциально нестабильные склоны, что может обеспечить предотвращение геоопасностей.

Хотя эти методы позволяют достигать высокоточных измерений, их трудно применять для обнаружения неизвестных и нестабильных склонов из-за высокой стоимости и практических ограничений покрытия. Оптические изображения дистанционного зондирования могут охватывать большие площади, но всепогодные и круглосуточные возможности мониторинга не могут быть реализованы из-за влияния тумана и облаков.

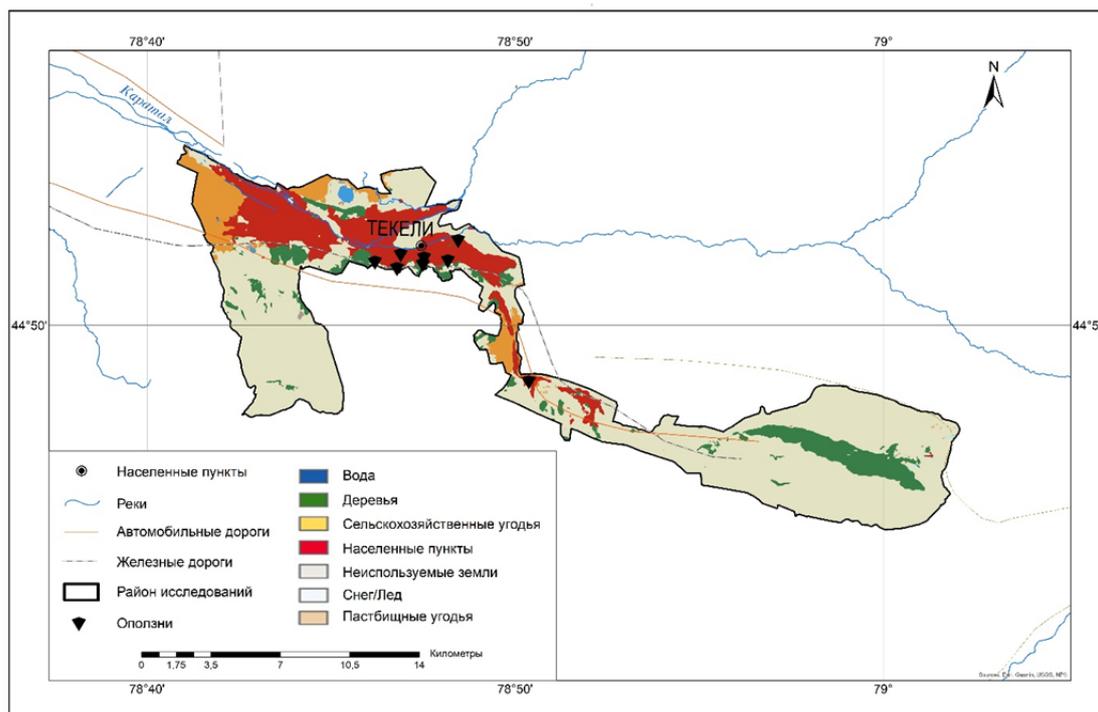


Рисунок 5 – Карта землепользования Текели [10]

Figure 5 – Land Use/Land Cover map of Tekeli [10]

Таблица 3 – Физико-механические свойства лёссовидных суглинков на оползнеопасных участках Текели

Table 3 – Physical and mechanical characteristics of loess-like loams in landslide-prone areas of Tekeli

Характеристика и ее размерность	Проба № 1	Проба № 2	Проба № 3
Граница текучести, %	33,2	29,8	29,1
Граница раскатывания, %	25,2	21,8	20,8
Число пластичности, %	8,0	8,0	8,3
Естественная влажность, %	13,7	12,7	13,7
Показатель текучести, %	<0	<0	<0
Плотность при естественной влажности, г/см ³	1,65	1,65	1,78
Плотность сухого грунта, г/см ³	1,48	1,47	1,57
Плотность при водонасыщении, г/см ³	1,91	1,93	1,99
Плотность частиц грунта, г/см ³	2,71	2,71	2,71
Коэффициент пористости	0,83	0,85	0,73
Коэффициент водонасыщения, д.е.	0,41	0,41	0,51
Влажность полного водонасыщения, %	32,3	31,3	26,9
Угол внутреннего трения при естественной влажности, град.	25	24	23
Угол внутреннего трения при максимальном водонасыщении, град.	21	20	19
Сцепление при естественной влажности, кгс/см ²	0,35	0,34	0,35
Сцепление при максимальном водонасыщении, кгс/см ²	0,27	0,22	0,17
Модуль деформации при естественной влажности, МПа	8,8	7,3	8,4
Модуль деформации при максимальном увлажнении, МПа	3,1	2,9	3,3
Относительная просадочность при давлении p=0,3 д.е.	0,079	0,08	0,083
Начальное давление просадочности, МПа	0,036	0,03	0,06
Коэффициент фильтрации, м/сут	0,14	0,18	0,21
Удельное сопротивление, Ом/м	47,6	52,3	52,3
Степень коррозионной активности	Средняя	Средняя	Средняя
Тип грунта	Суглинок твердый	Суглинок твердый	Суглинок твердый

В ходе работ по проекту были отобраны 3 пробы грунта в виде монолитов. Определение физико-механических свойств грунта выполнено в сертифицированной грунтоведческой лаборатории. Результаты приведены в таблице 3.

Модуль деформации грунта при естественном увлажнении около 13% равен 7,3-8,8 МПа. При увеличении влажности до 30% он уменьшается до 2,9-3,3 МПа, то есть его несущая способность падает в 2,5 раза.

Относительная просадочность грунта оказалась равной около 0,08. Это означает, что при увлажнении грунта до полной влагоемкости, которая составляет примерно 30 %, каждый метр промоченного грунта просядет на 8 см. Это уже приведет дома, стоящие на таком грунте, в аварийное состояние. При глубине промачивания 3 м просадка может быть 24 см, что приведет к полному разрушению зданий. Коэффициент фильтрации грунта составил от 0,14 до 0,21 м/сут. Это значит, что при избыточном притоке воды, например при прорыве водопровода, за 10 сут грунт промокнет на глубину от 1,4 до 2,1 м.

В ходе обследования выполнена orthophotography оползня с квадрокоптера, по результатам которой построены ортофотоплан местности, цифровая 3D модель рельефа, продольный (92,3 м) и поперечный (28 м) профили оползневого участка и прилегающего склона (рисунок 6).

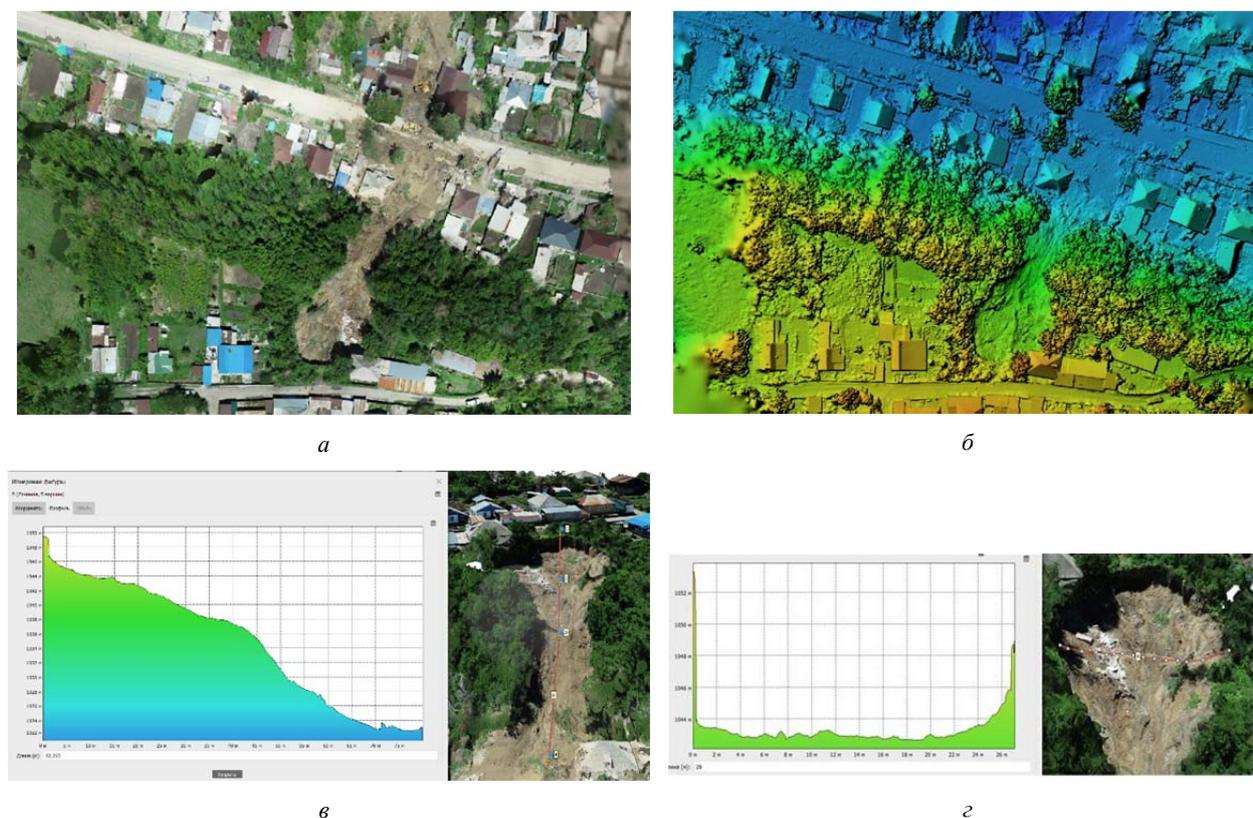


Рисунок 6 – Результаты ортофотосъемки оползня 15 мая 2022 года:
a – ортофотоплан; *b* – ЦМР; *c* – продольный профиль; *d* – поперечный профиль

Figure 6 – Results of the orthophotography of the landslide on May 15, 2022:
a – orthophotoplan; *b* – DEM; *c* – longitudinal profile; *d* – transverse profile

Для оценки оползневого риска в целях разработки защитных рекомендаций использована методика, выведенная с использованием международного опыта [11-15]. Количественным выражением риска опасного природного явления служит средний годовой ущерб, наносимый этим явлением за многолетний период. Полученные таким образом значения риска эквивалентны удельным потерям, умноженным непосредственно на опасность:

$$R = F \cdot Da ,$$

где R – риск оползня, €/годы; F – частота (события/50 лет); Da – средний ущерб (€/события).

В условиях значительной неопределенности повторяемости и объемов оползней, а также наносимого ими ущерба, в которых оценивается оползневой риск, его следует определять в виде качественных категорий в зависимости от тяжести последствий схода оползней и их частоты.

Результаты. Для оценки тяжести последствий схода оползней использовалась классификация чрезвычайных ситуаций, применяемая в МЧС РК [16]. В качестве критериев классификации применяются число погибших и пострадавших, а также материальный ущерб (таблица 4).

Повторяемость оползней была разделена на три качественные категории (таблица 5):

1. Очень редкая, для оползней, повторяющихся реже 1 раза в 100 лет.
2. Редкая, для оползней, повторяющихся 1 раз в 50–100 лет.
3. Частая, для оползней, повторяющихся чаще 1 раза в 50 лет.

Уровень риска на данном оползнеопасном участке оценивался по сочетанию повторяемости оползневых явлений и тяжести последствий их.

Таблица 4 – Классификация чрезвычайных ситуаций по тяжести последствий

Table 4 – Classification of emergencies by severity of consequences

Класс ЧС	Число погибших	Число пострадавших	Материальный ущерб, тыс. тенге
Локальное чрезвычайное происшествие	Менее 5	Менее 50	Менее 12 000
Объектовая	5-10	50-100	12 000 – 36 000
Местная	10-50	100-500	36 000 – 240 000
Региональная	50-200	500-1500	240 000 – 480 000
Глобальная	Свыше 200	Свыше 1500	Свыше 480 000

Таблица 5 – Качественная шкала уровней оползневого риска

Table 5 – Qualitative scale of landslide risk levels

Последствия оползневого явления	Повторяемость оползневого явления		
	очень редкая (реже 1 раза в 100 лет)	редкая (1 раз в 50-100 лет)	частая (чаще 1 раза в 50 лет)
Незначительные (без возникновения ЧС)	Умеренный	Умеренный	Умеренный
Значительные (объектовые ЧС)	Умеренный	Средний	Средний
Тяжелые, (местные ЧС)	Средний	Средний	Высокий
Очень тяжелые (региональные ЧС)	Высокий	Высокий	Высокий
Катастрофические, глобальные ЧС	Высокий	Высокий	Высокий

Умеренный риск принят для участков, на которых возможны только незначительные последствия оползней (без возникновения ЧС), а объектовые ЧС со значительными последствиями повторяются реже 1 раза в 100 лет. На этих участках защитные мероприятия обычно не требуются или же бывает достаточно простейших мероприятий вроде отвода поверхностных вод или поддержания в рабочем состоянии защитных сооружений.

Средний риск отмечается на участках, где могут быть даже очень редко местные ЧС, а объектовые ЧС повторяются чаще 1 раза в 50 лет. На этих участках необходимо проводить защитные мероприятия, в том числе регулирование землепользования, мониторинг оползневой опасности, укрепление склонов.

Высокий риск устанавливается для участков, на которых даже очень редко возможны оползневые явления с очень тяжелыми и катастрофическими последствиями или чаще 1 раза в 100 лет происходят оползневые явления с тяжелыми последствиями. На таких участках необходимо срочно строить защитные сооружения либо переносить объекты из опасной зоны.

Обсуждение. Рекомендуемые защитные меры делятся на активные и пассивные (таблица 6). Известно, что активные меры являются предпочтительными, поскольку они более эффективны экономически и могут быть реализованы быстрее, чем дорогостоящие пассивные меры. С другой стороны, пассивные меры могут иметь более долгосрочный эффект.

Таблица 6 – Противооползневые защитные мероприятия для г. Текели

Table 6 – Landslide protection measures for the Tekeli town

1. Активные меры	2. Пассивные меры
1.1. Мониторинг развития трещин в вершине оползнеопасного склона. Автоматическое измерение влажности и скорости смещения грунта в зоне формирования оползней 1.2. Мониторинг деформации склона и зданий 1.3. Предотвращение локального переувлажнения грунтов путем недопущения утечек воды в водопроводах и септиках, соблюдение норм полива, обустройство дренажной сети 1.4. Соблюдение норм полива 1.5. Эвакуация жителей при критических значениях влажности грунта и скорости смещения	2.1. Укрепление грунта под зданиями путем силикатизации для ликвидации просадочных свойств 2.2. Строительство подпорной стенки с дренажем для предотвращения смещения верхней части склона 2.3. Строительство оползнезащитного сооружения в виде гибкого тросово-сетчатого барьера в устье лога 2.4. Укрепление обрыва под домом с помощью стальной сетки с анкерами 2.5. Стабилизация русла ручья, текущего по логу Ватутина 2.6. Перенос домов №17, 59 и 61 в безопасное место

Таблица 7 – Оползневой риск и рекомендуемые меры по снижению опасности

Table 7 – Landslide risk and recommended hazard mitigation measures

Оползнеопасный участок	Объекты, подверженные воздействию оползней	Оползневой Риск	Рекомендуемые защитные мероприятия
N 1 (Горняк Текели)	15 жилых домов в дачном поселке, садовые участки. Количество проживающих 53 человека	Умеренный	1.2, 1.3
N 1a (Медвежья Лапа)	5 жилых домов с хозяйственными постройками. Количество проживающих 25 человек	Средний	1.1, 1.2, 1.5
N 2 (ул. Баумана)	2 жилых дома. Количество проживающих 6 человек	Средний	1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 2.1
N 3 (ул. Маметовой)	1 жилой дом. Количество проживающих 3 человека	Высокий	1.2, 1.3, 1.4, 2.1, 2.6
N 4 (ул. Шаталова)	4 жилых дома. Количество проживающих 15 человек	Высокий	1.1, 1.3, 1.4, 2.1, 2.6
N 5 (ул. Жандосова)	1 жилой дом. Количество проживающих 4 человека	Средний	1.1, 1.3, 2.2, 2.4, 2.5
N 6 (ул. Рыскулбекова)	4 жилых дома с хозяйственными постройками, автомобильная дорога, 7 столбов освещения. Количество проживающих 18 человек	Высокий	1.1, 1.5, 2.3
N 7 (ул. Чехова)	2 жилых дома. Количество проживающих 5 человек	Высокий	1.1, 1.3, 1.4, 2.1, 2.6

Рекомендации по предотвращению и смягчению риска для каждой оползнеопасной территории, полученные в результате оценки риска оползней, приведены в таблице 7.

Заключение. Большинство задокументированных оползней в Казахстане произошли в густонаселенных районах с хорошо развитой инфраструктурой и были тяжелыми или катастрофическими по масштабу. Из-за пересеченной местности и удаленности многих регионов записи об оползнях отсутствуют для 80% территории страны. Хотя полевые исследования всё ещё актуальны для локальных исследований в крупных горных и предгорных районах для конкретизации защитных мер, они остаются достаточно дорогостоящими.

В дальнейшем планируется более широкое применение методов дистанционного зондирования и методов ГИС-анализа, машинного обучения, нейронных сетей, использующих глобальные наборы данных с открытым доступом и сопутствующие метаданные для прогнозирования опасностей. Платформа ГИС позволяет манипулировать наборами данных, которые формируют первоначальную оценку региона и сужают полевое исследование до конкретных областей интереса только в случае крайней необходимости, экономя затраты.

Важно, чтобы меры по предотвращению опасности осуществлялись в тесном сотрудничестве научных учреждений, государственных органов и местных жителей.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по теме «Научно-прикладное обоснование селе-, оползне- и лавинобезопасности в горных районах Иле и Жетысу Алатау Республики Казахстан». Программно-целевое финансирование №BR21881982.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Words into Action Guidelines: National Disaster Risk Assessment Hazard Specific Risk Assessment. 3. Landslide Hazard and Risk Assessment. UNISDR, 2017. https://www.unisdr.org/files/52828_03landslidehazardandriskassessment.pdf
- [2] Capobianco, V., Choi, C. E., Crosta, G. et al. Effective landslide risk management in era of climate change, demographic change, and evolving societal priorities. *Landslides* (2025). <https://doi.org/10.1007/s10346-024-02418-2>
- [3] Norwegian Geotechnical Institute (2012). SafeLand project. R&D program Safeland. Abstract available from www.ngi.no/eng/Projects/SafeLand
- [4] Scolobig A., Thompson M., Linnerooth-Bayer J. Compromise not consensus: designing a participatory process for landslide risk mitigation // *Natural Hazards*. – 2016. – Vol. 81, supplement 1. – P. 45-68.
- [5] Aldabergen U., Blagoveshchensky V., Ranova S., Kamalbekova A. Application of unmanned aerial vehicles to obtain morphometric characteristics of landslides // *RT&A. Special Issue No 5(75)*. – Vol. 18. – 2023. – P. 656-662.
- [6] Airbus WorldDEM4Ortho in ArcGIS Living Atlas of the World. Доступно на сайте: <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis-living-atlas/imagery/airbus-worlddem4ortho-in-arcgis-living-atlas-of-the-world/> (Accessed: 3 February 2025).
- [7] Силачева Н. В., Кульбаева У. К., Кравченко Н. А. Вероятностная оценка сейсмической опасности Казахстана и г. Алматы по пиковым ускорениям грунта // *Геодезия и геодинамика*. – 2018. – Т. 9, вып. 2. – С. 131-141. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2017.11.002>
- [8] Ахметов А. Ж., Жакулина А. А., Елиусизов Р. Н. Особенности структурно-неустойчивых грунтов южного региона Казахстана // *Проблемы геологии и освоения недр: Труды XX Международного симпозиума*. – Томск, 2016. – С. 517-518.
- [9] Справочник по климату Казахстана: Многолетние данные. Раздел 1-2. Вып. 13. – Алматы: РГП «Казгидромет», 2004. – С. 295.
- [10] Sentinel-2 10m Land Use/Land Cover (2017-2021) / Сайт URL: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=fc92d38533d440078f17678ebc20e8e2>
- [11] Varnes D. J. I.A.E.G. Commission on Landslides and other Mass-Movements *Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice*. – The UNESCO Press, Paris (1984). – 63 p.
- [12] Remondo J., Bonachea J., Cendrero A. Quantitative landslide risk assessment and mapping on the basis of recent occurrences // *Geomorphology*. – 2008. – Vol. 94, Issues 3-4. – P. 496-507.
- [13] Corominas J., C. van Westen, Frattini P., Cascini L., Malet J.-P., Fotopoulou S., Catani F., M. Van Den Eeckhaut, Mavrouli O., Agliardi F., Pitolakis K. Recommendations for the Quantitative Analysis of Landslide Risk // *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* (2014), 73:209-263 [10.1007/s10064-013-0538-8](https://doi.org/10.1007/s10064-013-0538-8)
- [14] Мягков С. М. География природного риска. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 222 с.
- [15] Радаев Н. Н. Определение уровней рисков в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера // *Изв. РАН. Серия географическая*. – 2003. – № 5.
- [16] Положение о Министерстве по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан, утвержденное Постановлением Правительства Республики Казахстан от 23 октября 2020 года № 107, подпункт 184-1 (Regulation on the Ministry of Emergency of the Republic of Kazakhstan, approved by the Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan dated October 23, 2020 No. 701, subparagraph 184-1).

REFERENCES

- [1] Words into Action Guidelines: National Disaster Risk Assessment Hazard Specific Risk Assessment. 3. Landslide Hazard and Risk Assessment. UNISDR, 2017. https://www.unisdr.org/files/52828_03landslidehazardandriskassessment.pdf
- [2] Capobianco, V., Choi, C. E., Crosta, G. et al. Effective landslide risk management in era of climate change, demographic change, and evolving societal priorities. *Landslides* (2025). <https://doi.org/10.1007/s10346-024-02418-2>
- [3] Norwegian Geotechnical Institute (2012). SafeLand project. R&D program Safeland. Abstract available from www.ngi.no/eng/Projects/SafeLand
- [4] Scolobig A., Thompson M., Linnerooth-Bayer J. Compromise not consensus: designing a participatory process for landslide risk mitigation // *Natural Hazards*. 2016. Vol. 81, supplement 1. P. 45-68.
- [5] Aldabergen U., Blagoveshchensky V., Ranova S., Kamalbekova A. Application of unmanned aerial vehicles to obtain morphometric characteristics of landslides // *RT&A. Special Issue No 5 (75)*. Vol. 18. 2023. P. 656-662.
- [6] Airbus WorldDEM4Ortho in ArcGIS Living Atlas of the World. Available at: <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis-living-atlas/imagery/airbus-worlddem4ortho-in-arcgis-living-atlas-of-the-world/> (Accessed: 3 February 2025).
- [7] Silacheva N. V., Kulbayeva U. K., Kravchenko N. A. Probabilistic seismic hazard assessment of Kazakhstan and Almaty city in peak ground accelerations // *Geodesy and Geodynamics*. Vol. 9, Issue 2. March 2018. P. 131-141. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2017.11.002> (in Russ.).
- [8] Akhmetov A. Zh., Zhakulina A. A., Eliusizov R. N. Features of structurally unstable soils of the southern region of Kazakhstan // *Problems of Geology and Subsoil Development. Proceedings of the 20th International Symposium*. Tomsk, 2016. P. 517-518 (in Russ.).
- [9] Climate Handbook of Kazakhstan. Long-term data. Sections 1-2. Issue 13. Almaty: RSE «Kazhydromet», 2004. 295 P. (in Russ.)
- [10] Sentinel-2 10m Land Use/Land Cover (2017-2021). Available at: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=fc92d38533d440078f17678ebc20e8e2>
- [11] Varnes D.J. I.A.E.G. Commission on Landslides and other Mass-Movements *Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice*. The UNESCO Press, Paris (1984). 63 p.
- [12] Remondo J., Bonachea J., Cendrero A. Quantitative landslide risk assessment and mapping on the basis of recent occurrences // *Geomorphology*. 2008. Vol. 94, Issues 3-4. P. 496-507.

[13] Corominas J., C. van Westen, Frattini P., Cascini L., Malet J.-P., Fotopoulou S., Catani F., M. Van Den Eeckhaut, Mavrouli O., Agliardi F., Pitilakis K. Recommendations for the Quantitative Analysis of Landslide Risk/ Bulletin of Engineering Geology and the Environment (2014), 73:209-263 10.1007/s10064-013-0538-8

[14] Myagkov S. M. Geography of natural hazard. M.: MSU, 1995. 222 p. (in Russ.).

[15] Radayev N. N. Determination of risk levels in emergency situations of natural and man-made nature // Izvestiya RAS Geographical Series. 2003. No. 5 (in Russ.).

[16] Regulation on the Ministry of Emergency of the Republic of Kazakhstan, approved by the Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan dated October 23, 2020, No. 701, subparagraph 184-1) (in Russ.).

В. П. Благовещенский¹, А. С. Есжанова^{*2}, А. К. Толепбаева³, Ұ. Р. Алдаберген⁴

¹ Г.ғ.д., бас ғылыми қызметкер (ҚР ҒЖББ «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; victor.blagov@mail.ru)

^{2*} Г.ғ.к., доцент, жетекші ғылыми қызметкер (ҚР ҒЖББ «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; azhar.yezhan@gmail.com)

³ Ғылыми қызметкер (ҚР ҒЖББ «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; akmaral1980@mail.ru)

⁴ PhD докторант, кіші ғылыми қызметкер (Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; aldabergen_u@mail.ru)

ТЕКЕЛІ ҚАЛАСЫНДАҒЫ ДАЛА ЗЕРТТЕУЛЕР НЕГІЗІНДЕ ҚОРҒАУ ШАРАЛАРЫН ӨЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЖЕР КӨШКІНІ ТӘУЕКЕЛІН БАҒАЛАУ

Аннотация. Қазақстанның таулы аумақтары халық тығыздығы жоғары болғандықтан адамдық және материалдық шығынның жоғары қаупін тудыратын қауіпті процестердің белсенді дамуымен сипатталады. Жоспарлау және басқару жұмыстарын жүзеге асыруда локальді көшкіндерді зерттеудің ең репрезентативті әдісі – дәстүрлі далалық әдістер және қашықтықтан зондтау мен ГАЖ комбинациясы. Мақалада далалық зерттеу, ГАЖ-карталау әдістерін және қашықтықтан зондтау деректерін пайдалана отырып, Текелі қаласындағы жер көшкін қаупін талдау және адамдар мен мүлкті қорғау бойынша қысқа мерзімді және ұзақ мерзімді ұсыныстар берілген. Текелі қаласының аумағын зерттеу барысында геологиялық, геоморфологиялық, метеорологиялық мәліметтер, ғарыштық суреттер, ашық ғаламдық деректер және көшкіндердің ретроспективті жағдайлары негізінде аумақты далалық зерттеу кезінде көшкін қаупін бағалау расталды. Квадрокоптер көмегімен ортофотография жүргізіліп, жер бедерінің цифрлық моделі мен профилдер құрылып, жергілікті тұрғындар мен әкімшілік қызметкерлерімен сауалнама жүргізілді. Көшкін қаупі жоғары аймақтарында гранулометриялық талдау үшін топырақ үлгілері алынды. Көшкін қаупін бағалау әдістемесі қауіпті процестерді зерттейтін ғылыми қоғамдастықта талқыланып, қабылданған әлемдік зерттеу тәжірибесіне негізделген. Нәтижесінде әрбір жер көшкін қауіпті нүктелер үшін қорғау шаралары бойынша ұсыныстар кестеге жинақталды.

Түйін сөздер: жер көшкіні, жер көшкіні қаупін бағалау, төтенше жағдайлар, далалық зерттеулер, қорғау шаралары, ГАЖ, Текелі.

V. P. Blagoveshchenskiy¹, A. S. Yeszhanova^{*2}, A. K. Tolepbayeva³, U. R. Aldabergen⁴

¹ Doctor in Geographical sciences, chief researcher («Institute of Geography and Water Security» JSC, Almaty, Kazakhstan; victor.blagov@mail.ru)

^{2*} PhD in Geography, associate professor, leading researcher («Institute of Geography and Water Security» JSC, Almaty, Kazakhstan; azhar.yezhan@gmail.com)

³ Researcher («Institute of Geography and Water Security» JSC, Almaty, Kazakhstan; akmaral1980@mail.ru)

⁴ PhD Student, Junior Researcher (Al-Farabi Kazakh National University, JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; aldabergen_u@mail.ru)

LANDSLIDE RISK ASSESSMENT AND DEVELOPMENT OF PROTECTIVE MEASURES BASED ON FIELD RESEARCH IN TEKELI

Abstract. The mountainous regions in southeastern Kazakhstan are characterized by high landslide susceptibility. High populated areas in the low and foothill zones, where natural and anthropogenic conditions increase the occurrence of landslides, are particularly vulnerable to damage with human loss. The use of a combination of the traditional field-oriented method and the application of remote sensing and GIS to assist planning and management processes is considered as the most representative way to study local landslides. This paper presents the results of a ground-based field survey conducted in Tekeli region to assess landslide risks using GIS-based mapping and remote sensing data and the development of short-term and long-term recommendations for the protection of people and property. The investigation of Tekeli town included geological, geomorphological, and meteorological data, satellite imagery, open-access global data, and a retrospective analysis of previous landslide events confirmed by field surveys. Orthophoto imagery was obtained using unmanned aerial vehicles (UAVs), landslide slope profiles were constructed, local residents and officials were interviewed. Soil samples for granulometric analysis of loess-like loams in high-risk areas were collected. Cracks were identified within the detachment zones. Conducted interviews with local residents and municipal authorities. The landslide risk assessment methodology is based on internationally recognized approaches to hazardous process analysis accepted by the scientific community. The assessment results and protection recommendations for each landslide-prone site are summarized in the final table.

Keywords: landslides, landslide risk assessment, emergency, field survey, protective measures, GIS, Tekeli.