

УДК: 551; 502.5

Тыныбеков А.К., Конурбаев Т.А., Азаматов Н.А.

КГУ им. И.Арабаева

## ОЦЕНКИ РИСКА СЕЛЕВОЙ ОПАСНОСТИ

*В пределах рассматриваемого участка территорию южного берега оз. Иссык-Куль, от села Тон на Западе, до села Кызыл-Суу на Востоке были использованы технологии геоинформационных систем (ГИС) для анализа риска селеобразования. Одним из достоинств данного способа отображения является сочетание возможности анализа реальной действительности аэроснимка и ее интерпретации картографом-составителем. Для сопоставления опасности с помощью ГИС применены способы построения так называемых синтетических карт, где показывается расчетная обобщенная характеристика различных видов опасности. Произведено районирование территории в баллах интенсивности риска, в баллах, варьирует от 1 до 7. В целом можно сказать, что территория может характеризоваться наличием сильной селевой опасности.*

**Ключевые слова:** Селевая опасность, риски, вероятность событий, ГИС технологии.

*Ысык-Көлдүн түштүк жээги Тон айылынын батыш жагынан Кызыл-Суу айылынын чыгыш жагына чейин каралган чекте сел пайда болуу тобокелдик анализине геомаалыматтык система технологиясы пайдаланылган. Мындай элестетүү ыкмасынын бирден-бир артыкчылыгы болуп реалдуу чыныгы аэросүрөт анализдерине картограф-түзүүчүнүн түшүндүрмөсүн айкалыштыруу эсептелет. Тобокелдик интенсивдүүлүгү райондорго бөлүнүп, анда баллдар 1-7 болору көрсөтүлдү.*

**Негизги сөздөр.** Сел коркунучу, тобокелдик, окуянын ыктымалдуулугу, ГИС технологиялары.

*Within the considered site, the territory of the southern coast of the Lake Issyk Kul, from the village Tone in the West, to the village of Kyzyl-Suu in the east, we used technologies of Geographic information systems (GIS) for the analysis of risk of mudflow formation. One of advantages of this method of display is the combination of the possibility of analyzing the actual reality of an aerial photograph and its interpretation by the cartographer-originator. Ways of creation of so-called synthetic cards, where the calculated generalized characteristic of different types of danger is shown, are applied to compare the danger by means of GIS. Division into districts of the territory in points of intensity of risk is made, points varies from 1 to 7. In general, it is possible to tell that the territory can be characterized by existence of strong torrential danger.*

**Key words:** mudflow danger, risks, the probability of events, GIS technology.

Целями геоинформационного прогнозирования являются своевременное обнаружение неблагоприятных или катастрофических процессов в природной среде и разработка специальных рекомендаций. Системы прогнозирования должны своевременно не только обнаруживать и предупреждать население о природных катастрофах, но и по возможности предотвращать их, минимизировать ущербы. Факторов, от которых зависит точность прогнозирования природных катастроф, достаточно много, и учесть их всех одновременно практически невозможно. Однако именно неучтенные факторы зачастую приводят к неправильному прогнозу. Наиболее существенны с точки зрения прогнозирования следующие факторы:

- причины возникновения природных катастроф,
- свойства и параметры среды моделирования природных явлений,
- биологические индикаторы их предвестников,
- особенности географического положения и рельефа исследуемой территории.

Геоинформационное прогнозирование природных катастроф может включать в себя четыре основных группы задач:

1) сбор, обработка и анализ первичной информации об источниках природной катастрофы, в результате чего создаются базы данных и знаний, используемые для дальнейшего накопления и обобщения данных о природной катастрофе;

2) динамическое моделирование природных катастроф — на данном этапе предполагается разработка моделей развития природной катастрофы на основе современных численных и математических методов;

3) оперативное геоинформационное прогнозирование природных катастроф с использованием разработанных моделей;

4) оценка рисков, связанных с развитием и распространением природных катастроф и выработка рекомендаций по их предупреждению.

К одному из периодических, но чрезвычайно активных видов деятельности горных рек относится селевые паводки, которые в сильной степени преобразуют долины, создают множество новых форм рельефа. Сель представляет собой кратковременный паводковый или прорывной водный поток с высоким содержанием грязекаменного материала на горных реках, состоящих из полужидких грязекаменных масс и обладающих колоссальной и разрушительной силой. Причины их возникновения - интенсивные и продолжительные ливни, бурное таяние снега и льда в горах, прорывы ледниковых озер. В результате прорыва перемычки запрудного озера или перенасыщения влагой грунта в верховьях реки образуется поток, в который по мере его продвижения вниз по долине вовлекается смываемый материал. Процесс развивается лавинообразно, сотни тысяч кубических метров пульпы и обломков горных пород представляют реальную опасность, и даже селе защитные сооружения не всегда выполняют удерживающую и отводящую функцию. Нередко они вызывают катастрофические последствия и представляют большую опасность для населения горных районов [1].

Если доля твердого материала в обычных районах составляет около 1 % объема потока, в селевых потоках она доходит до 50-60 % и больше, грязекаменная масса нередко исчисляются миллионами кубометров. Сели обычно возникают по руслам небольших рек и сухих логов, имеющих крутое падение, за счет прорыва ледниковых плотинных озер и т.д.

На Тянь-Шане отмечается резкое увеличение озерности в интервале высот от 3000 до 3500 м, так как именно на этих высотах располагаются обширные пространства сыртов, а также начинается зона сплошного распространения многолетней мерзлоты с присущими ей термокарстовыми формами рельефа. В этом поясе сосредоточено 1677 небольших высокогорных озер (табл. 1.), причём в бассейне озера Иссык-Куль их насчитывается 204, в верховьях Нарына - 203, в горном обрамлении Ферганской долины - 137, в бассейне р. Чу - 95, р. Талас - 83 и р. Сары-Джаз-73[ 4 ].

Табл. 1. Распределение озер по высотным зонам

Интервал высот, м	Количество озер, %	Интервал высот, м	Количество озер, %
4001-1500	2,9	2001-2500	" 2,3
3501-4000	37,6	1501-2000	5,1
3001-3500	46,7	1001-1500	0,7
2501-3000	3,8	501-1000	0,9
Общее количество озер	1923		

У конечной части языков ледников широко распространены приледниковые или краевые озера, подпруженные моренами или ригелями; многочисленны также озера,

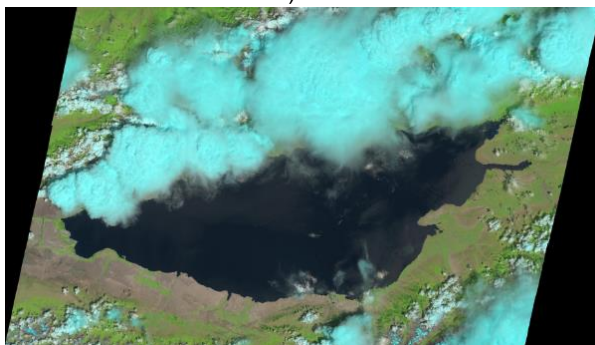
лежащие на дне каров и цирков (каровые). На некотором удалении от краевых частей концов ледников, на дне троговых долин расположены озера, запруженные более древними моренами (моренно-запрудные). Для озерных поясов характерны и термокарстовые озера, встречающиеся повсеместно, где развита многолетняя мерзлота. В основном это небольшие озера (менее 0,001 км<sup>2</sup>), образующиеся в термокарстовых просадках на поверхности ледников, морен, на речных террасах, на выровненных поверхностях сыртов и плато.

Жизнь подавляющего большинства высокогорных озер связана с оледенением. Под его воздействием озера зарождаются, живут, питаются ледниковым стоком, и исчезают вследствие разрушительных гляциальных селей или постепенно отмирают, заполняясь наносами - продуктами ледниковой эрозии.

Распад ледников и их отступление в современную эпоху приводит к некоторому увеличению числа озер в горах, но при уменьшении их средней площади. При этом малые озера в высокогорных областях интенсивно заносятся продуктами ледниковой и склоновой эрозии и быстро исчезают. На современном этапе изменения климата озерность горных территорий в целом направленно уменьшается, а озерный пояс постепенно перемещается все выше, вслед за отступающими ледниками.

В следствие больших расходов и значительных скоростей движения и плотности селевой массы, динамические параметры селевых потоков намного выше, чем в обычных русловых потоках.

1) 08-07-14



2) 19-04-14



3) 26-10-2013

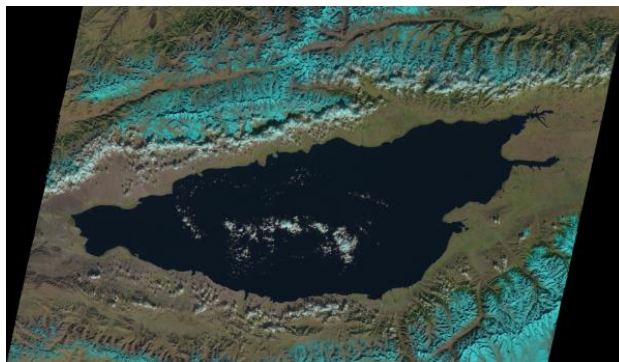


Рис. 1. Спутниковые снимки одной территории в различное время.

Для прогнозирования и предупреждения схода таких потоков необходимо вести регулярные наблюдения и исследования селевых процессов, очагов зарождения и путей движения селей. В этой деятельности неоценимую помощь могут оказать ГИС-технологии(рис.1.), позволяющие провести комплексный анализ условий формирования селей и оценку последствий их схода. Для мониторинга селеопасных районов необходимы разнообразные информационные ресурсы, в том числе картографические материалы, данные дистанционного зондирования, различные описания. Эти ресурсы используются для наполнения ГИС, составления отчетов, рекомендательных писем, проведения исследований, создания крупномасштабных тематических карт. При этом качество и ценность конечного результата во многом определяется применяемым программным обеспечением, средствами ввода, вывода и обработки информации.

ГИС является наиболее подходящим инструментом для хранения, обработки и анализа результатов наблюдений. Одно из самых важных достоинств ГИС - возможность многоуровневого синтеза и анализа. Совмещая тематические данные различного содержания и анализируя результаты такого синтеза, мы можем получить новую информацию и провести комплексный анализ широкого спектра факторов и условий селеформирования. Анализ можно проводить на разных масштабных и временных уровнях.

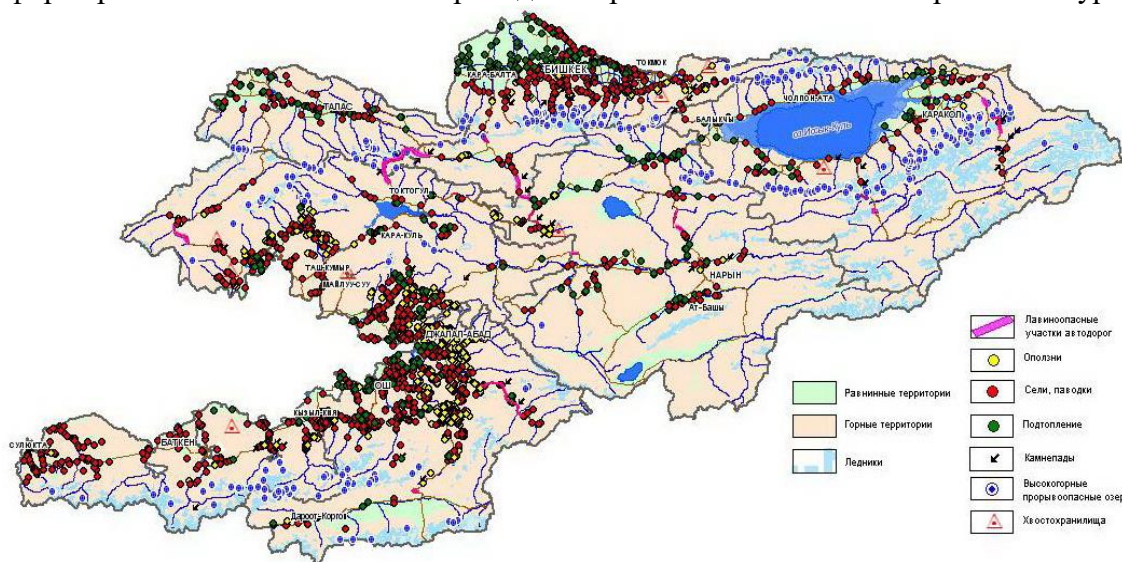


Рис. 2. Карта-схема распространения опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики.

Основой для ГИС селевых районов является цифровая модель рельефа, представляющая собой GRID с пространственным разрешением 10м, данные цифровой

аэросъемки, топографические карты. Эти материалы явились базой для создания тематической серии: геоморфологических, инженерно-геологических, физико-географических карт масштаба 1:25 000 - 1:50 000. Составляются карты оценки последствий схода катастрофических селей.

Кроме аналитических карт, ГИС технологии включают в себя базу пространственных данных, накопленных за историю исследований селевого района, в том числе картографические материалы, обычно в растровом виде. Достаточно часто в процессе работы требуется осуществлять визуальное сравнение двух и более источников. Использование функций задания прозрачности и штриховки не всегда дает нужный результат. Иногда пользу могут принести нестандартные подходы, такие как метод «псевдо рельефа», примененный нами при составлении карты очага селеформирования [1].

В реальном мире мы воспринимаем объект в трех измерениях. Если мы видим, например, красный шар, то его граница красного цвета имеет вид окружности, а наличие теней является признаком объемности и позволяет сделать вывод, что это шар. То есть, имея характеристику объекта X, Y, мы можем отобразить параметр Z, при этом, не нанося ущерб читаемости и сохраняя наглядность изображения. В случае показа местности, X, Y - плановые координаты, а Z - высота.

Данная особенность широко применяется при отображении рельефа отмывкой, однако она применима и для передачи другой информации, например, текстурных особенностей фотоснимка. Такой способ представления данных был применен для картографирования очага селеформирования масштаба 1:10 000. В результате на карте с «псевдорельефом» проявились текстурные особенности внутри каждого типа контуров. В пределах границы ледника стала отчетливо видна трещиноватость, в долине реки проявились старые русловые формы, на коллювиальных склонах стала видна расчлененность рельефа. Информация об обвальных осыпных склонах, проявившиеся в результате наложения снимков, позволяют судить о доминирующих направлениях миграции вещества.

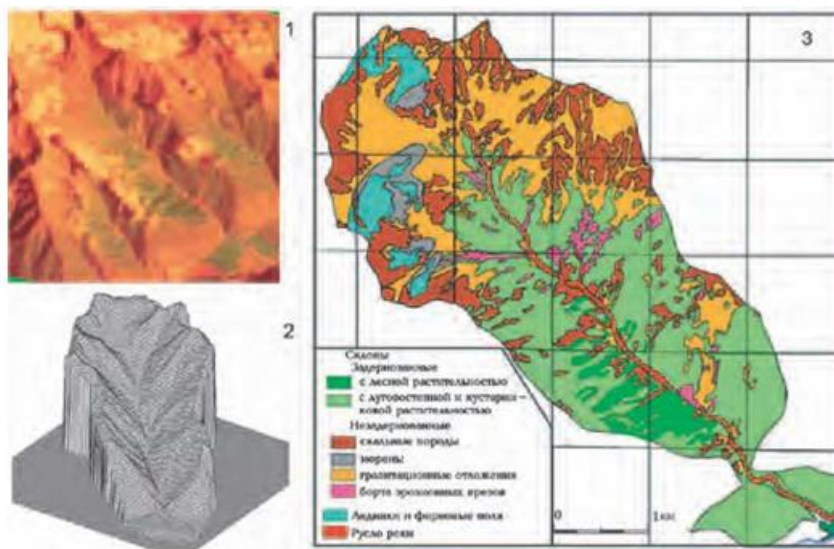


Рис. 3. Блок базовой информации высокогорного селевого бассейна: 1 - базовый космический снимок, 2 - цифровая модель рельефа, 3 - базовая тематическая карта

В пределах рассматриваемого участка территорию южного берега оз. Иссык-Куль от с. Тон на Западе, до с. Кызыл-Суу на Востоке нами было использовано ГИС технологии для анализа риска селеобразования.

Особенностью паводковой и селевой опасности отличается долина р. Тон (рис.2 ). В

ее верховьях находится, морено ледниковые озера Туяк-Тер, Колтер, Корумду, которые относятся 1 категории прорывоопасности. Подобные паводковые и селевые потоки могут сформироваться в долинах рек Тосор, Тамга, Барскаун, Чон-Кызылсу, в верховьях которых имеются горные озера 1 и 2 категории прорывоопасности.

Период опасности прохождения паводковых и селевых потоков в районе, связанный с особенностями гидрометеорологического режима растягивается на 5 месяцев. Самым опасным является июль, на этот месяц приходится 39% случаев прохождения паводковых и селевых потоков. Далее по степени опасности идут июнь - 28%, май - 13%, август - 11%, сентябрь - 9%. Паводки и селевые потоки могут сформироваться и в марте, апреле, октябре, однако по своей мощности они уступают потокам июня-сентября.

В целом территория может характеризоваться наличием сильной селевой опасности. Для сопоставления опасности с помощью ГИС применены способы построения так называемых синтетических карт, где показывается расчетная обобщенная характеристика различных видов опасности (рис.2) [1].

Таблица 2. Классификация селей.

Типы	Первопричины	Распространение и зарождение
Дождевой	Ливни, затяжные дожди	Самый массовый на Земле тип селей. Образуется в результате размыва склонов и появления оползней.
Снеговой	Интенсивное снеготаяние	Происходят в горах субарктики. вызваны со срывом и переувлажнением снежных масс.
Ледниковый	Интенсивное таяние льда	В высокогорных районах. Зарождение связано с прорывом талых ледниковых вод.
Вулканогенный	Извержение вулканов	В районах действующих вулканов. Самые крупные. В следствие бурного снеготаяния и прорыва кратерных озер.
Сейсмогенный	Сильные землетрясения	В районах высокой сейсмичности. Срыв грунтовых масс со склонов.
Лимногенный	Образование озерных плотин	В высокогорных районах. Разрушение плотин.
Антропогенный прямого воздействия	Скопление техногенных пород. Некачественные земляные плотины	На участках складирования отвалов. Размыв и сползание техногенных пород. Разрушение плотин.
Антропогенный косвенного воздействия	Нарушение почвенно-растительного покрова	На участках уничтожения лесов, лугов, размыв русел и склонов.

В общем виде формулируется задача качественной и количественной оценки риска НОЯ, в частности, лавин и селей. В основу положена структурная формула риска [1]:

$$\text{РИСК} = \text{ВЕРОЯТНОСТЬ СОБЫТИЯ} \times \text{ВОЗМОЖНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ} \quad (1)$$

Эта формула носит общий характер и приложима к оценке риска любых НОЯ. Исходя из (1), под лавинным и селевым риском понимается вероятность неблагоприятного исхода при попадании людей и материальных объектов в зону действия лавин и селей. Любое НОЯ

характеризуется временем, местом реализации и размером возможного ущерба. Поэтому при использовании общей структурной формулы риска были выделены три компонента: временная  $R_t$ , пространственная  $R_s$  и антропогенная  $R_a$ . Временная компонента характеризует длительность лавино- и селеопасного периода и повторяемость (частоту) лавин и селей. Пространственная компонента зависит от распределения лавинной и селевой активности на исследуемой территории и отражает частоту НОЯ по пространственной координате. Антропогенная компонента определяется соответствующей нагрузкой горного региона. На основе структурной формулы (1) можно произвести как качественную, так и количественную оценку риска. Рассмотрим сначала качественную оценку. Разобьем временную компоненту  $R_t$  риска на три уровня:  $R_1, R_2, R_3$ .

Поскольку временная компонента характеризуется прогнозом НОЯ, то нижние индексы будут соответствовать следующим ситуациям: 1 - большая вероятность, что событие не произойдет, 2 - событие может произойти или не

произойти с некоторой отличной от нуля вероятностью, 3 - большая вероятность, что событие произойдет. Аналогично трехуровневые шкалы могут быть введены для пространственной и антропогенной компонент риска. Переписав (1) в виде

$$R = R_t R_s R_a \quad (1)$$

и произведя операцию свертки с использованием трехуровневой шкалы для каждой из компонент риска, получим ряд значений риска:

$R_{ijk}$ , где  $i, j, k = 1, 2, 3$ .

Полученный ряд можно ранжировать. В работе [1] ранжировка была сделана по аналогии с градацией шкалы оптической плотности в фотометрии - путем наложения серых фильтров при прохождении света. Получена кубическая матрица чисел, соответствующих степени риска, и на ее основе 5 - шкала качественной оценки риска (слабый, умеренный, средний, сильный и чрезвычайный).

К общим, определяющим понятие и проявления риска, относятся следующие свойства: риск является многомерной характеристикой будущих состояний окружающей среды; риск связан со случайными явлениями и процессами; проявление риска - условное событие.

Идентификация источника селевой опасности включает:

- определение характеристик источника опасности в селевом бассейне (генезис селевых явлений, селевой режим, механизм зарождения и движения селей, аккумуляция селевых выносов);

- определение зон потенциального воздействия селей в бассейнах;

- составление сценариев селевого режима и прогнозирование селевой активности.

Идентификация объектов в зоне воздействия селевых явлений:

- выявление реципиентов социосферы, техносферы, экосферы;

- определение характеристик реципиентов (устойчивость, значимость);

- оценка степени защищенности или уязвимости конкретных объектов к воздействию селей.

Селевая опасность - источник потенциального ущерба либо вреда или ситуация при формировании селевого потока с возможностью нанесения ущерба, а селевой риск - это сочетание частоты или вероятности формирования селя с определенными характеристиками и последствий от этого опасного события.

В селевых бассейнах могут одновременно формироваться сели различного типа и эрозионные процессы. Селевые явления имеют различные характеристики (плотность,

объем и расход селя). Смыв почвы и воздействие селевых явлений могут считаться одинаковыми по масштабу разрушений, если приведут к одинаковым по степени потерь последствиям в одном и том же по подготовленности бассейне. Величина  $\lg E^*$  (десятичный логарифм отношения коэффициентов материальных и людских потерь за год в районе катастрофы при ее наличии и отсутствии) характеризует степень потерь по сравнению с нормальными условиями. Показатель разрушительной силы природной катастрофы

$$J_c = \lg E^* / \lg E_m$$

характеризует, какую долю (от максимально возможной величины  $\lg E_m$  в течение года) ее разрушительная сила имеет в зоне действия.

Для обычных условий, когда статистический учет потерь относится к годовому периоду отчетности, значение  $J_c$  изменяется от нуля до единицы. Если предположить, что ощутимые нарушения функционирования объектов начинаются только тогда, когда явление достигнет 6 баллов, то при 10 баллах уже будет практически полное их разрушение. Аппроксимирующая формула для перевода балла разрушительной силы ( $I_b$ ) в показатель поражающей способности селей ( $J_c$ ) имеет вид ( $r = 0,95 \pm 0,02$ ), /2/:

$$J_c = 0,12 (I_b) - 0,2 \quad (2)$$

Допустим, что без принятия мер гражданской обороны при природных катастрофах потери людей находятся на том же уровне, что и материальные потери. Тогда коэффициент поражения ( $E^*$ ), который зависит от характера и силы воздействия опасного

явления природы (селевых потоков) на объекты, можно представить в виде  $\lg E^* = 8 J_c$  при определении индекса потенциальных потерь  $I_S$ . Величина указанного индекса определяется по формуле:

$$I_S = \lg(S/S_0) + \lg(r/r_0) + 8 J_c, \quad (3)$$

где  $S$  - площадь распространения селевого потока;  $r$  - продолжительность катастрофы.

Риск связан с деятельностью в условиях, с одной стороны, реально существующей неопределенности, а с другой - выбора заинтересованным индивидуумом определенных альтернатив и расчетом вероятности их результата, а значит, он представляет собой диалектическое единство объективного и субъективного. Вопрос состоит не в уклонении от рисков, а в их оптимизации по отношению к тем задачам, которые ставит перед собой человек или организация.

Набор сочетаний экологических объектов с различным качеством среды обитания носит случайный характер  $P(q, y)$ , как во времени, так и в пространстве. Этот показатель представляет собой характеристику ситуации, чреватой возникновением ущерба или другой формы реализации риска (подверженность риску).

Величина эколого-экономического риска при воздействии селей на геосистемы определяется по выражению /2/:

$$R = \sum_{i=1}^n (P P_0 P(q/y) P(I_S))_i Y_i, \quad (4)$$

где  $P$  - вероятность выпадения атмосферных осадков, формирующих поверхностный сток воды (расход воды с вероятностью превышения менее 10 %) и эрозию;

$P_0$  - вероятность неблагоприятных метеорологических условий (дожди несколько дней подряд), способствующих возникновению опасного природного явления;

$P(q/y)$  - условная вероятность сложившейся ситуации для экологических объектов ( $q$ )



с учетом качества окружающей среды ( $y$ );

$P(IS)$  - вероятность потенциальных потерь в зависимости от социальных условий, масштаба воздействия и разрушительной силы селевых (эрозионных) процессов в районе;

$Y$  - потери (ущерб) в стоимостном выражении в зависимости от степени воздействия селей (эрозии) на экологические объекты.

Индекс приведенных потерь (фактических) включает в себя географическую составляющую индекса возможных потерь ( $IS_g$ ), связанных с экономическими и демографическими особенностями района, и индекс потенциальных потерь ( $IS_c$ )

$$IS = IS_g + IS_c \quad (5)$$

Значение индекса потенциальных потерь можно считать величиной случайной, подчиняющейся нормальному закону распределения.

Определена взаимосвязь показателей  $IgY$  ( $Y$  - сумма прямых и косвенных затрат, обеспечивающая безопасную эксплуатацию объекта при благоприятных условиях) и

$$r = -Igr.$$

Затраты на поддержание устойчивости геозкосистем возрастают с увеличением риска, достигая предельной стоимости природного капитала.

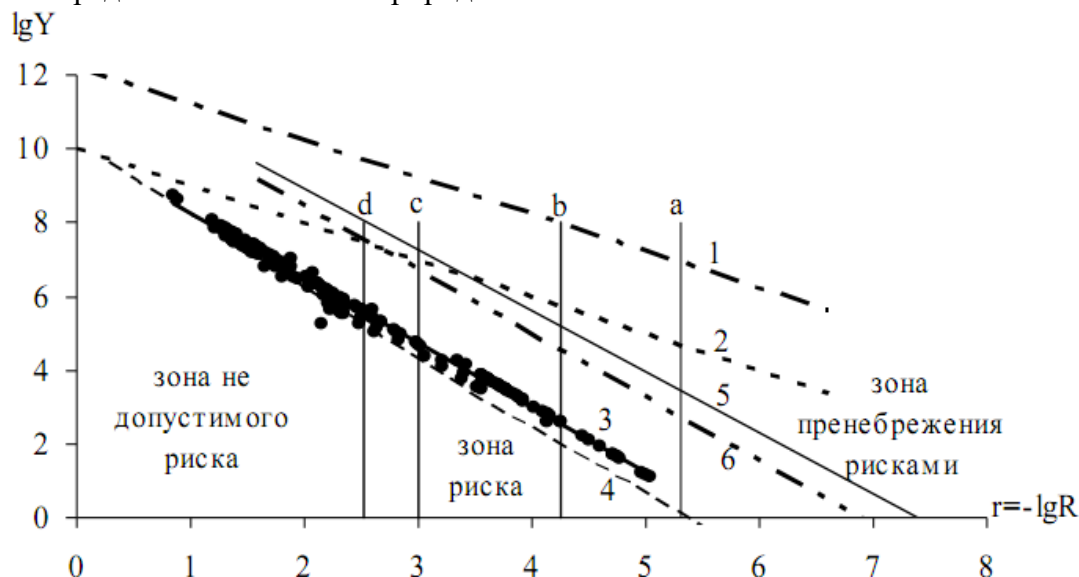


Рис. 4. Взаимосвязь показателей природного, социально-экономического капитала ( $IgY$ ) и безопасности геозкосистем ( $r$ ).

Практическая ценность и значимость предложений /2/ заключаются в возможности разработки научно обоснованных рекомендаций по оценке эколого-экономического риска и мероприятий по улучшению экологической ситуации. Полученные результаты позволяют:

- оценить опасность возникновения стихийных бедствий в регионе за счет выпадения ливневых осадков, формирования экстремального поверхностного стока воды и эрозионного смыва почво-грунтов при условии изменения состояния ландшафтов в результате хозяйственной деятельности человека;
- учесть средние потери (ущерб) за счет смыва почво-грунтов для различных ландшафтов;
- установить величину эколого-экономического риска и приведенных потерь на участках различной степени освоенности;

- определить потребность в инженерных мероприятиях по оздоровлению окружающей среды для конкретно сложившейся экологической ситуации;
- установить тенденцию развития экологической ситуации и стратегию реализации защитных мероприятий по уровню категории сложности;
- разрабатывать систему управления риском для селеопасных и эрозионно-опасных территорий.

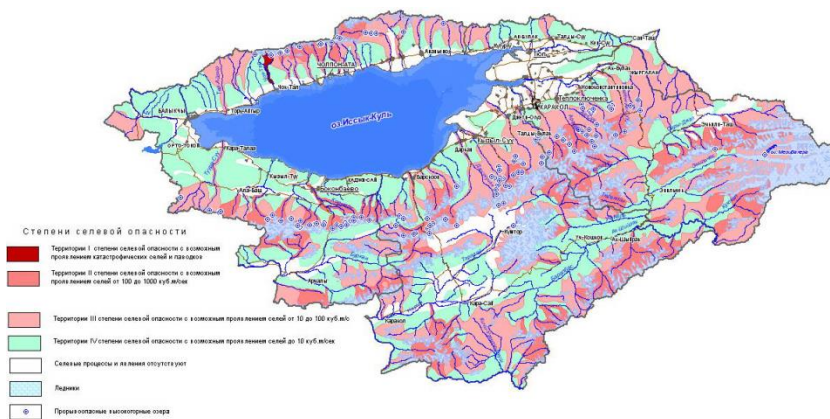


Рис. 5. Карта-схема прогноза селевой опасности на территории Иссык-Кульской области

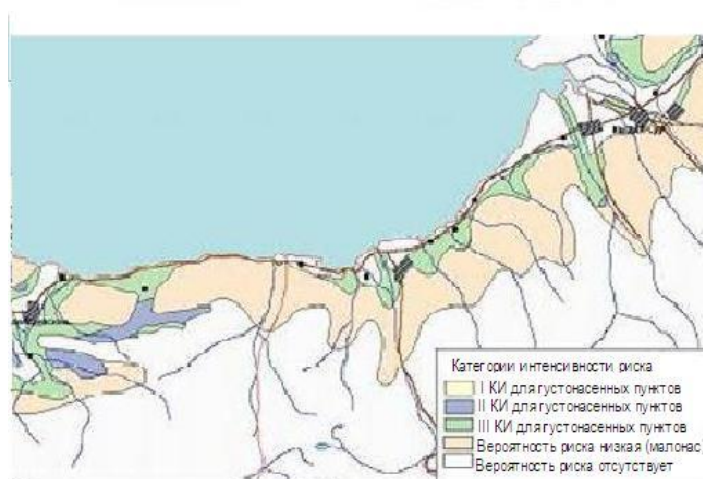


Рис. 6. Синтетическая карта опасности для Южного берега озера Иссык-Куль, являющаяся результатом оверлея (наложения) трех слоев.

Районирование территории проведено в баллах интенсивности риска, в баллах, варьирует от 1 до 7, разграничение риска по категориям произведено в следующей градации:

- Риск 1-2 балла - 1 категория риска (риск приемлем)
- Риск 3-4 балла - 2 категория риска (риск приемлем частично)
- Риск 5-7 баллов - 3 категория риска (риск не приемлем) [3].

На основе оценки экологического риска вырабатывается комплекс рекомендаций, направленных на устранение или уменьшение риска. В состав рекомендаций в зависимости от характера опасности и степени ее проявления входят: полное отселение людей, вывод объектов из зоны поражения, инженерная защита объектов (строительство плотин, дамб, селезащитных сооружений); проведение превентивных и профилактических мероприятий, организация системы оповещения населения об опасности и обучение спасательным

действием. Применение многоуровневой геоинформационной системы, ориентированной на оценку селевой опасности и мониторинг селевых процессов является современной технологией для мониторинга от природных катастроф. Современная структура ГИС технологии могут использоваться для геоинформационного картографирования горных районов и для оперативного решения аналитических задач: пространственного моделирования, инженерных расчетов. Разработка новых способов отображения позволяет повысить скорость и качество анализа. Основная задача данной ГИС - предупреждение и сведение к минимуму ущерба, причиняемого селями.

**Литература:**

1. Корсей С., Пармонов Д. ГИС для картографирования селевой опасности, //ARCREVIEW современные геоинформационные технологии, -М., №3, 2003.
2. Таланов Е.А. Региональная оценка эколого-экономического риска от водной эрозии и селей. -Алматы, 2007, 352 с.
3. Tynybekov A.K. Assessment of the natural and environmental risk//TECHNOLOGY of CIVIL SAFETY Publishing house: The All-Russian research institute on problems of civil defense and emergency situations of Emercom of Russia (Moscow) ISSN: 1996-8493. - 2013. - No. 4 (38). page 72-77.
4. Тыныбеков А.К. Risks Assessment of the Natural Disasters, Floods and avalanches ecology in Krgyz Republic, "Рахматулинские чтения", 23-24 окт.2015, -Бишкек, с.36-42.
5. Тыныбеков А.К., Салыков Т.С. Оценки рисков природных катастроф. - Вестник НГУ, №4, 2016, с.159-163.