

ҚР ҰҒА-ның Хабарлары. Геологиялық сериясы. Известия НАН РК.
Серия геологическая. 2010. №4. С. 13–19

УДК 551.2'3.(574.1-11)

Б.Ш. АБДИМАНАПОВ

ЭНДОГЕННЫЕ И ЭКЗОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ – КАК ПРИЧИНЫ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Қазақстанның оңтүстік-шығыс аймағындағы тұрғындар мен шаруашылықтарына теріс әсер ететін эндогендік және экзогендік құбылыстардың даму жағдайы қарастырылған.

Рассмотрены условия развития эндогенных и экзогенных явлений, оказывающие негативное воздействие на население и хозяйство юго-востока Казахстана.

In given article the laws of endogenous and exogenous phenomena affecting the population and economy of South-East Kazakhstan negatively are considered.

Одним из ведущих факторов природной опасности и риска являются рельеф и рельефообразующие процессы. При оценке степени опасности и риска территории следует рассматривать их в комплексе с другими компонентами ландшафта [1,2,3]. Как отмечает С.Б. Кузьмин [4], необходимо четко определять и разделять факторы возникновения опасного процесса и источники энергии. Например, сели формируются в тех местах, где с одной стороны рыхлый материал находится в состоянии критической неустойчивости, с другой – выпадает аномальное количество атмосферных осадков, обуславливающих повышенный склоновый сток. Крупные обвалы формируются там, где горные породы имеют повышенную трещиноватость и происходят сильные землетрясения.

Неотектонические и современные движения земной коры существенно усложняют инфраструктуру [5,6,7], увеличивают линейные параметры [8,9] и снижают прочностные свойства горных пород зон разломов, что увеличивают риск опасных геоморфологических процессов и явлений.

Эндогенные и экзогенные процессы как факторы инициирования геоморфологических опасностей находятся в тесной взаимосвязи между собой. Возникшие в результате появления эндогенных факторов крупные тектонические сооружения (горы и равнины) стимулируют деятель-

ность поверхностных, экзогенных процессов, направленных на их разрушение. В то же время сглаживание рельефа под действием экзогенных факторов приводит к сокращению мощности земной коры, уменьшению нагрузки на более глубокие оболочки Земли и часто сопровождается воздыманием земной коры. Так, между тектоническими движениями и рельефом местности всегда существует прямая зависимость: чем больше амплитуда и скорость тектонических движений, тем значительнее нарушение гравитационного равновесия, тем интенсивнее расчленение рельефа земной поверхности. В результате гравитационного равновесия происходит преобразование энергии эндогенных процессов в энергию экзогенных процессов. Например, чем больше амплитуда и скорость воздымания поверхности, тем большую кинетическую энергию приобретает масса, стекающая по ней воды, тем значительнее денудация поверхности. И наоборот, чем меньше амплитуда высот и степень воздымания поверхности, тем меньше будут проявляться гравитационные и другие процессы и явления.

Современные движения земной коры и современные движения земной поверхности служат наиболее надежными критериями выделения активных тектонических структур. Как известно, тектонические структуры обуславливают тот или иной тектонический режим, под которым пони-

¹ Казахстан, 050010, г. Алматы, пр. Достык, 13. КазНПУ им. Абая.

мают преобладающий тип движений и деформаций в основных структурных областях земной коры, длительно в них сохраняющийся. В пределах материков и их периферии выделяются геосинклинальный, эрогенный и платформенный типы тектонического режима.

Для платформенного режима присуща малая амплитуда и малая дифференциация колебательных движений, слабая сейсмичность, образование преимущественно прерывистой складчатости и т.д.

Геосинклинальный режим отличается большими амплитудами и резкой дифференцированностью вертикальных движений земной коры, повышенной сейсмичностью, активным вулканизмом и т.д.

Орогенный режим характеризуется восходящими движениями, активностью разломов при разнообразной складчатости, характером магматизма и другими признаками [10].

Современные геотектонические условия юго-востока Казахстана связаны с новейшими тектоническими движениями, которые образует неотектонический этап, с чем связаны процессы омоложения (возрождения) рельефа и формирование современного геоморфологического устройства территории.

Одним из наиболее опасных геофизических явлений является землетрясение, которому подвержено около 30% территории Казахстана, и где проживает более 6 млн. человек, сосредоточено 40% промышленного потенциала республики. В сейсмоопасных зонах республики расположено 27 городов, свыше 400 других населенных пунктов. Под постоянной угрозой разрушительных землетрясений находятся территории Восточно-Казахстанской, Алматинской, Жамбылской и Южно-Казахстанской областей. В одной только сейсмоопасной зоне Алматинской области проживает более 1,5 млн. человек и почти все население Алматинской агломерации, с населением более 1,5 млн. человек. За последние 100 с небольшим лет, на юго-востоке Казахстана произошло около десятка разрушительных землетрясений, два из которых Чиликское (1889 г.) и Кеминское (1911 г.) с магнитудой $M > 8,0$ относятся к рангу мировых катастроф.

По данным ЮНЕСКО, землетрясениям принадлежит первое место по причиняемому экономическому ущербу и одно из первых мест по

числу унесенных человеческих жизней. Землетрясение даже средней силы, не говоря уже о сильном или катастрофическом, это не только стихийное бедствие, влекущее за собой человеческие жертвы, большое число пострадавших и значительный экономический ущерб, это также сильнейшее психологическое и социальное потрясение, которое остается в памяти почти на всю жизнь.

В конце 40-х годов XX в. основательные исследования сейсмичности Земли выполнили американские ученые Б. Гутенберг и Ч. Рихтер [5]. В книге «Сейсмичность Земли», они на основе инструментальных и макросейсмических данных составили каталоги сильных землетрясений с определением их магнитуд, таблицы распределения землетрясений различных магнитуд по годам. Ими составлены карты сейсмичности Земли в целом и по отдельным районам, отдельно для землетрясений с неглубокими и глубокими очагами и с различными магнитудами. Аналisis географического распределения очагов землетрясений позволили Б. Гутенбергу и Ч. Рихтеру установить основную закономерность сейсмичности Земли: землетрясения происходят главным образом в относительно узких поясах или зонах, а для большинства обширных областей характерна общая умеренная сейсмическая активность или асейсмичность.

Б. Гутенберг и Ч. Рихтер, анализируя полученные данные по сейсмичности Земли, открыли закон повторяемости землетрясений, позднее подробно исследованный Ю. В. Ризниченко и его учениками. Для земного шара в целом и для большинства изученных районов повторяемость землетрясений данного уровня магнитуды изменяется примерно в 8-10 раз при превышении магнитуды на единицу. Это может быть представлено уравнением

$$\lg N = A - bM,$$

где N – число землетрясений с магнитудой M или больше в единицу времени; A и b – постоянные величины, зависящие от конкретного района. Гуттенберг принимал следующие значения коэффициентов: $A = 7,81$; $b = 0,58$ (для меньших магнитуд) и $A = 9,1$; $b = 1,1$ (больших магнитуд). Эти значения должны уточняться по мере накопления фактических данных.

С. В. Медведев и В. Н. Шебалин приводят графики повторяемости землетрясений для раз-

личных районов бывшего СССР. Из графиков видно, что в среднем характер закономерности для всех районов одинаков: наклон «кривой повторяемости» почти один и тот же и только в высокосейсмических районах кривая лежит выше, а в более спокойных – ниже. Все кривые удовлетворяют приведенному выше уровню Б. Гуттенберга при несколько иных значениях коэффициентов [11].

В.И. Уломов [12] отмечает, что причина нелинейности графиков повторяемости кроется в слоисто-блоковом строении земной коры и всей литосферы, поскольку большие очаги крупных землетрясений не уменьшаются в том же слое, что и малые, а захватывают более глубокие горизонты с иными прочностными и динамическими свойствами.

Учитывая, что магнитуда М является функцией выделившейся в очаге энергии Е, уравнение Б. Гуттенберга может быть представлено в следующем виде

$$\lg N = A(E) + b(E) \lg E,$$

где А(Е) и b(Е) – постоянные величины, зависящие от района (аналогичны постоянны А и b в формуле Б. Гуттенберга). Коэффициент b(Е) для разных районов оказался примерно одинаковым: = 0,5.

В этом и состоит суть закона повторяемости землетрясений: в любом сейсмоактивном районе землетрясения с энергией в 10 раз большей будут на одной и той же площади происходить в среднем в 2,5 – 3 раза реже. Это означает, например, что если где-то за определенный период происходит 1000 землетрясений с энергией 10^{12} Дж, то в том же районе за тот же промежуток времени произойдет около 300 землетрясений с энергией 10^{13} Дж, около 100 землетрясений с энергией 10^{14} Дж. Значит, каждому району Земли свойственны максимальные размеры и максимальная энергия возможного очага землетрясения. Для Земли в целом $E_{max} = 10^{18}$ Дж, для Тянь-Шаня в целом $E_{max} = 10^{17}$ Дж, в районе Ташкента $E_{max} = 10^{14}$ Дж.

В большинстве случаев под землетрясением понимают колебание участков земной коры, вызванные прохождением сейсмических волн, которые возникают в результате кратковременного выделения большого количества энергии. В зависимости от причины возбуждения колебаний землетрясения подразделяются на: тектоничес-

кие, вулканические (вне рассматриваемой территории), обвално-провальные, ударные, искусственные и наведенные. В нижеприведенной таблице рассмотрены основные причины, вызывающие землетрясения, их характеристики, уязвимость, меры по уменьшению риска и т.д.

Наиболее многочисленными, сильными и разрушительными являются тектонические землетрясения. На их долю приходится более 99% всей выделяющейся сейсмической энергии. Вместе с тем, наряду с эндогенными причинами существенное влияние на развитие тектонических процессов оказывают экзогенные силы: перемещение масс гидросферы и атмосферы, накопление больших объемов осадочных пород, основным энергетическим источником которых является Солнце [12]. В частности, высокоширотные оледенения, являясь общепланетарным фактором, могут вносить значительные осложнения и изменения в течение процессов, определяющих как тектонические движения, так и развитие Земли в целом. Это связано с перераспределением нагрузки на земную кору при переходе части гидросферы из жидкого состояния в твердое и обратно. Накопление льда приводит к опусканию литосферы под ледниками, подъему ее на других участках, что ведет к изменению скорости вращения и центра тяжести.

Наведенные землетрясения по своей сути также тектонические, однако, их причиной являются процессы, вызванные хозяйственной деятельностью человека, относятся также к экзогенным.

Землетрясение – одно из самых опасных стихийных бедствий в мире и Казахстане, всегда возникает внезапно, и хотя продолжительность главного толчка не превышает обычно несколько секунд (или десятков секунд при катастрофических землетрясениях), его последствия бывают весьма значительными и трагическими. Сотрясения при сильных землетрясениях вызывают многочисленные процессы и явления, которые можно условно разделить на первичные и вторичные.

К первичным (непосредственным) последствиям относятся:

- повреждения, обрушения и разрушения зданий, сооружений или их частей, повреждения и разрывы трубопроводов, линий электропередач и связи, дорог, нарушения инфраструктуры, вле-

Таблица 1. Причины землетрясений, уязвимость и превентивные мероприятия

Генезис землетрясений	<i>Тектонические</i> (разрыв участка литосферы или верхней мантии под воздействием напряжений, накопившихся в процессе тектонических деформаций). <i>Обвально-провальные</i> (горные обвалы, обрушение кровли горных пород в карстовых полостях и шахтах). <i>Ударные</i> (падение метеоритов). <i>Искусственные</i> (подземные и наземные взрывы различного назначения, в том числе атомные). <i>Наведенные</i> (заполнение крупных водохранилищ, интенсивная откачка нефти, газа и воды, нагнетание воды в скважины и др.).
Общие характеристики	Колебания поверхности земли, вызванные сейсмическими волнами, распространяющимися по поверхности земли и под землей и в свою очередь вызывающие сотрясения, вибрации, разрушение зданий и сооружений, вторичные трещины на поверхности земли, цунами, разжижение водонасыщенных песков, сели, оползни, обвалы, камнепады, снежные лавины, прорывы озер и водохранилищ, перекрытие русла рек, катастрофические пульсации ледников, обрушение ледников, технологические аварии, повторные подземные толчки и др.
Предсказуемость	Возможно, прогнозировать само явление и примерную его величину, но не точное время его наступления. Прогнозирование основывается на показаниях сейсмографов, регистрирующих «предвестников» землетрясения, – слабые подземные толчки; изменения режима подземных вод и другие наблюдения, а также статистический анализ.
Факторы, повышающие уязвимость	Расположение населенных пунктов и хозяйственных объектов в сейсмоопасных зонах. Застойка несейсмостойкими зданиями. Плотная застройка многоэтажными сооружениями. Отсутствие доступа населения к информации о возможности землетрясений и связанных с ними опасностей в данной местности.
Последствия	<i>Людские потери</i> – иногда значительные, особенно вблизи эпицентра землетрясения или в густонаселенных районах или в районах, где не соблюдались нормы сейсмостойкого строительства. <i>Здравоохранение</i> – большое количества раненых. Крапсиндром. Психологические расстройства. Антисанитария. Вспышки эпидемий. Демографическая катастрофа. <i>Материальный ущерб</i> – повреждения и разрушения зданий или других инженерных сооружений, пожары, наводнения, разрушения плотин и др. Нарушение режима деятельности коммунального хозяйства и других, важных социально-бытовых объектов.
Возможные меры по уменьшению уязвимости	Сейсмическое районирование и микрорайонирование. Соблюдение норм сейсмостойкого строительства. Контроль над землепользованием. Отселение населения из опасных районов, где возможны вторичные последствия. Страхование. Обучение населения правилам поведения при ЧС. Снижение уязвимости инженерных сооружений. Сейсмоусиление зданий и сооружений и др.
Специфические меры по готовности	Сейсмостойкое строительство и другие программы готовности. Обучение действиям при землетрясениях. Психологическая подготовка населения. Оповещения населения об угрозе землетрясения. Эвакуация населения из возможных зон опасностей.

кущие за собой гибель и травмирование людей, потерю материальных ценностей;

- неравномерные просадки и разжижение грунта под фундаментами отдельных зданий и сооружений, приводящие к их наклону, повреждению или разрушению;

- колебания зданий и сооружений, обуславливающие падение оборудования и неустойчивых предметов, что в свою очередь приводит к гибели и травматизму людей и потере материальных ценностей;

- колебания зданий приводящие к массовым стрессам людей, возникновению паники и, как

следствие этого, к осложнению эвакуационных и спасательных работ, дополнительному травматизму людей, находящихся в здании;

- оползни, обвалы, камнепады, пульсации и обрушения ледников, другие сейсмогравитационные деформации;

- повреждение или разрушение плотин водохранилищ и отстойников, оползание больших масс грунта и скальных пород в водохранилища и др.

Вторичные последствия прямо или косвенно связаны с первичными явлениями. Ущерб от них может превышать ущерб от первичных последствий. Вторичные последствия могут воз-

никать сразу после толчков. Через некоторое время или значительно позже. Последствия, связанные с травмированием людей и загрязнением окружающей среды, могут сказываться в течение длительного времени.

Приведем примеры наиболее характерных вторичных последствий.

- сильным землетрясением часто сопутствуют пожары, возникающие в результате коротких замыканий электрических цепей, утечек газа, разрушения или обрушения котельных установок и печей, падения электро- и водонагревательного оборудования, разлива легковоспламеняющихся веществ. Локализация и тушение пожаров затрудняются в силу нарушения системы пожаротушения и отсутствия воды, усложнением доставки пожарной техники из-за многочисленных завалов и т. д.;

- повреждение жилых зданий и систем жизнеобеспечения населения приводит к ухудшению санитарных и эпидемиологических условий, что вызывает рост простудных и инфекционных заболеваний и даже к эпидемиям (брюшной тиф, холера и др.);

- изменение гидрологического и гидрологического режимов после землетрясения приводят к изменению окружающей среды, иногда с неблагоприятными для населения последствиями;

- разрывы технологических трубопроводов, нефте- и газопроводов, повреждения и разрушения складов и емкостей с опасными химическими и радиоактивными веществами могут вызвать массовое заражение территории и отравления людей, загрязнение окружающей среды и даже экологическую катастрофу.

Наибольшее воздействие землетрясения оказывают на здания и сооружения, которые подразделяются на три типа:

А – здания из рваного камня, сельские постройки, дома из кирпича-сырца, глинобитные дома;

Б – кирпичные дома, здания крупноблочного типа и из естественного тёсаного камня;

В – здания панельного типа, каркасные железобетонные, а также деревянные дома.

Предвидя возможную картину последствий землетрясения, в деле обеспечения снижения уязвимости населения и хозяйства к ним, важную роль играет оценка сейсмической опасности конкретных территорий.

Землетрясения по величине и частоте повторения подчинены фундаментальной закономерности, очень важной для исследований по сейсмическому районированию: чем больше масштаб явления, тем реже оно возникает. Наиболее крупные сейсмические события происходят в одном и том же очаге чрезвычайно редко – один раз в сотни, а иногда и в тысячи лет [12].

Результатом оценки сейсмической опасности является общее сейсмическое районирование территории (ОСР). Основная цель районирования – минимизация негативных последствий землетрясений.

Комплект карт общего сейсмического районирования входит в состав Сноп II-7-81* «Строительство в сейсмических районах» и является обязательным нормативным документом для всех организаций, осуществляющих проектирование для строительства и реконструкции зданий и сооружений в сейсмических районах [13].

Указанный комплект карт предусматривает осуществление антисейсмических мероприятий при строительстве объектов и отражает 10%-ю (карта А), 5%-ю (карта В) и 1%-ю (карта С) вероятность возможного превышения (или соответственно 90, 95 и 99%-ю вероятность не превышения) в течение 50 лет указанных на картах значений расчетной сейсмической интенсивности (6, 7, 8, 9 и 10 баллов по шкале MSK-64).

В иной трактовке карты ОСР-97-А, ОСР-97-В, ОСР-97-С характеризуют 90%-ю вероятность не превышения (или 10%-ю вероятность превышения) расчетной сейсмической интенсивности в течение 50, 100 и 500 лет соответственно. Указанная на картах сейсмическая активность относится к участкам с различными сейсмическими свойствами грунтов (табл. 1).

В поймах рек и на побережьях озер, где грунтовые воды залегают на небольшой глубине, и грунты представлены песками или илом, при землетрясениях интенсивностью 7 баллов и более может происходить извержение грунта с водой. Возникающие песчаные трещины и грязевые «вулканы» ориентированы вдоль трещин или образуют отдельные конусы. Осадки, возникающие при землетрясениях в сухих рыхлых насыпных

Таблица 1. Зависимость сейсмичности площадки строительства от категории грунта по сейсмическим свойствам [13]

Категория грунта по сейсмическим свойствам	Грунты	Сейсмичность площадки строительства при фоновой сейсмичности района, баллы		
I	Скальные грунты всех видов (в том числе вечномерзлые и вечномерзлые оттаявшие), невыветрелые и слабовыветрелые; крупнообломочные грунты плотные маловлажные из магматических пород, содержащие до 30 % песчано-глинистого заполнителя; выветрелые и сильновыетрелые скальные и нескальные твердомерзлые грунты при температуре минус 2 градуса и ниже при строительстве и эксплуатации по принципу I	6	7	8
II	Скальные грунты выветрелые и слабовыветрелые, том числе вечномерзлые, кроме отнесенных к I категории; крупнообломочные грунты, за исключением отнесенных к I категории; пески гравелистые, крупные и средней крупности плотные и средней плотности маловлажные; пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности маловлажные; глинистые грунты с показателем консистенции = или < 0,2 при коэффициенте пористости < 0,9 для глин и суглинков, и < 0,7- для супесей, пластичномерзлые и сыпучнemerзлые грунты, а также твердомерзлые при температуре выше минус 2 градуса при строительстве и эксплуатации по принципу I	7	8	9
III	Пески рыхлые независимо от влажности и крупности; пески гравелистые, крупные и средней крупности, глинистые грунты, плотные и средней плотности, влажные и водонасыщенные, глинистые грунты с показателем консистенции > 0,5, глинистые грунты с показателем консистенции = или < 0,5 при коэффициенте пористости > или = 0,9 для глин и суглинков и > или = 0,7- для супесей.	8	9	9

грунтах, могут достигать величины 0,1 м при 7-балльных, 1,5 м при 8 балльных и 3 м при 9-балльных землетрясениях, а в обводненных грунтах – еще больших значений. Обводненные песчаные и супесчаные грунты могут давать осадку до 0,1 м при 7-балльных землетрясениях, до 0,7 м при 8-балльных и до 1,5 м при 9-балльных землетрясениях. Сухие лессовые грунты могут давать просадку, достигающую 1 м при 8-балльных землетрясениях [5].

Неблагоприятными в сейсмическом отношении следует считать территории с крутизной склонов более 15° , с близостью плоскостей сбросов, сильной нарушенностью пород физико-геологическими процессами, горными выработками, участки с негоризонтальными границами разделя между породами различной жесткости, участки с залегающими на глубине менее 3 м обводненными пылеватыми и мелкими песками и илами [14].

На равнинных пространствах ведущими экзогенными процессами являются эрозия и аккумуляция аллювия, абразия по берегам рек и озер, золовое перемещение в основном песчаного материала, солевое выветривание на солончаках. Следует отметить, что равнинные территории перемежаются с низкогорными массивами, в которых эрозионные процессы протекают несколько по-иному, чем на равнинных участках. Здесь могут формироваться небольшие сели дождевого генезиса, небольшие обвалы и оползни.

Таким образом, на основе вышеизложенного можно сделать заключение, что внутренняя энергетика рельефа и внешние факторы рельефообразования оказывают существенное воздействие на безопасность территорий. Снижение уязвимости населения и хозяйства к опасным геологическим явлениям и процессам, связано с мероприятиями по уменьшению воздействий последних к первым.

ЛИТЕРАТУРА

1. Симонов Ю.Г., Тимофеев Д.А. Геоморфология и проблемы изучения окружающей среды // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1989. №4. С. 8-15.
2. Тимофеев Д.А. Экологическая геоморфология: объект, цели и задачи // Геоморфология. М.: РАН, 1991. №1.- С. 43-48.
3. Геоморфологический риск. Иркутск: Изд. ИЗК СО РАН. 1993. 140 с.
4. Кузьмин С.Б. Активные разломы как факторы геоморфологического риска и их ландшафтообразующая роль // Геоморфология. М.: РАН, 1998. №1.-С. 3-9.
5. Землетрясения. Причины и последствия: Учеб. пособие / А.Д. Потапов, И.Л. Ревелис. М.: Высш. шк., 2009. 246с.
6. Никонов А.А. Голоценовые и современные движения земной коры (геолого-геоморфологические и сейсмотектонические вопросы). М.: Наука, 1977. 240 с.
7. Разломообразование в литосфере: зоны сдвига. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ие. 1991. 262 с.
8. Шерман С.И. Физические закономерности разломообразования в земной коре. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ие. 1977. 102 с.
9. Ружич С.И. Зависимость между параметрами разрывных нарушений и их практическое применение // Механизмы формирования структур Восточной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ие. 1977. С. 41 – 48.
10. Геологический словарь. Том 2. М.: Изд-во «Недра», 1978. 455с.
11. Назаров Г.Н. Оледенения и геологическое развитие Земли. М.: Недра, 1971. 141 с.
12. Уломов В.И. Сейсмогеодинамика и сейсмическое районирование Северной Евразии / Вестник ОГТГГН РАН, № 1 (7), 1999. С. 37 – 43.
13. СН и П. – 7 – 81 * Строительство в сейсмических районах. М., 2000.
14. Назаров Г.А. Методические указания по комплексным сейсмогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям с применением сейсморазведочных установок. М.: ВИА, 1999. 124 с.