

На правах рукописи

Рыбченко Артем Александрович

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО
СОСТОЯНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ Г. ИРКУТСКА**

25.00.08 – инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук**

Иркутск – 2009

Работа выполнена в лаборатории инженерной геологии и геоэкологии
Института земной коры СО РАН

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук,
профессор Юрий Болеславович Тржцинский

Научный консультант: кандидат геолого-минералогических наук
Варвара Викторовна Акулова

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
профессор Кирилл Георгиевич Леви

кандидат геолого-минералогических наук
Лариса Ивановна Аузина

Ведущее предприятие: Дальневосточный государственный
университет путей сообщения

Защита состоится 17 июня 2009 г. в 9.30 на заседании диссертационного
совета Д 003.022.01 при Институте земной коры СО РАН по адресу: 664033,
г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Иркутского научного
центра СО РАН

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью
учреждения, просьба отправлять по вышеуказанному адресу ученому
секретарю совета Л.П. Алексеевой, e-mail: lalex@crust.irk.ru, факс: (3952)
426-900, тел.: (3952) 422-777

Автореферат разослан «15» мая 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат геолого-
минералогических наук

Л.П. Алексеева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Актуальность представляемой работы определяется общемировой тенденцией к постоянному увеличению численности городского населения и территорий, занимаемых городами.

Иркутск был основан в 1661 году и за 348 лет прошел путь от деревянного острога до современного города с более чем полумиллионным населением. За это время существенно изменился масштаб и характер техногенного воздействия на геологическую среду (ГС). ГС города испытывает нарастающее воздействие техногенной нагрузки. Площадь города и плотность застройки постоянно возрастает. В связи с этим под освоение попадают площади со сложными инженерно-геологическими условиями. Происходит трансформация геодинамической обстановки, которая часто приводит к возникновению негативных и опасных проявлений экзогенных геологических процессов (ЭГП). Для обеспечения устойчивого и безопасного развития городских природно-технических систем необходимо проводить инженерно-геодинамическую оценку их состояния.

Объект исследования. Объектом исследования является природно-техническая система Иркутска, включающая ГС в пределах административной границы города.

Цель работы. На основе комплексной оценки опасности ЭГП и анализа механизмов их развития выделить основные процессы, являющиеся ведущими в формировании современного инженерно-геодинамического состояния ГС г. Иркутска.

Основные задачи исследования:

1. Создание полигонов по наблюдению за динамикой развития процессов и выделение факторов-их формирования.
2. Изучение механизмов формирования процессов с учетом влияния техногенных факторов.
3. Выделение первостепенных процессформирующих условий ГС и категории опасности процессов.
4. Построение инженерно-геодинамических карт основных процессов, распространенных на территории города.
5. Зонирование территории по опасности ЭГП.

Научная новизна:

1. Впервые для территории г. Иркутска выполнена оценка ЭГП на основе общей шкалы категории опасности геологических процессов.
2. Составлены электронные инженерно-геодинамические карты основных ЭГП на территории г. Иркутска с использованием ГИС-технологий.
3. Предложена и апробирована методика расчета опасности процессов, основанная на выделении первостепенных процессформирующих условий ГС и категории опасности процессов.

Исходные материалы и личный вклад автора. Исходными данными для написания диссертации послужили результаты полевых и камеральных исследований, проводившихся в 2001-2008 годах, выполненных лично

автором или с его участием на территории г. Иркутска. В том числе были использованы опубликованные и фондовые материалы Л.А. Сироткина, Б.Л. Шурыгина, Т.Г. Рященко, В.В. Акуловой, Н.И. Демьянович, Л.И. Аузиной, Б.М. Шенькмана, И.Б. Шенькман, Ю.Б. Тржцинского, Ф.Н. Лещикова, В.М. Литвина, Н.Н. Гринь, В.Н. Богданова, Г.Е. Серовой.

Практическое значение. Полученные автором электронные карты и расчеты могут использоваться в проектных и изыскательских организациях на стадиях планирования и проектирования инженерных работ и объектов в г. Иркутске. Разработанная методика предлагается к использованию при прогнозе развития ЭГП и планированию размещения инженерных объектов при освоении новых территорий.

Защищаемые положения:

1. Механизмы формирования и развития экзогенных геологических процессов (ЭГП) на территории города позволяют определить техногенез как ведущий процессформирующий фактор.

2. Оценка общей опасности ЭГП базируется на анализе разработанных инженерно-геодинамических карт территории города и шкалы категории опасности процессов.

3. Зонирование площади города по степени опасности ЭГП отражает современное инженерно-геодинамическое состояние территории. Созданная картографическая модель определяет ведущую роль подтопления и суффозионно-просадочных процессов в формировании современного состояния ГС большей части города.

Апробация работы: Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на международных и всероссийских конференциях: XIX – XXII Всероссийская молодежная конференция «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, 2001, 2003, 2005, 2007), Первая Сибирская международная конференция молодых ученых по наукам о Земле (Новосибирск, 2002), Третья школа-семинар молодых ученых России «Проблемы устойчивого развития региона» (Улан-Удэ, 2004), VIII Международный симпозиум имени академика М.А. Усова (Томск, 2004), Всероссийская школа-семинар «Теоретические и прикладные вопросы современной географии» (Томск, 2005), Третья Сибирская международная конференция молодых ученых по наукам о Земле (Новосибирск, 2006), XVIII Молодежная конференция «Актуальные проблемы геологии докембрия, геофизики и геоэкологии» (Санкт-Петербург, 2007), 11-я международная конференция геологического общества Греции «Геологическая среда: прошлое, настоящее, будущее» (Афины, 2007), Всероссийская научная конференция с участием иностранных ученых «Трофимуковские чтения – 2008» (Новосибирск, 2008).

Публикации. По результатам исследований, проведенных в ходе выполнения работы, автором лично и в соавторстве опубликовано 34 работы, из них 1 статья в журнале из перечня ВАК, 6 в зарубежных изданиях и 1 коллективная монография.

Структура и объем работы. Диссертация общим объемом 146 страниц состоит из 5 глав, введения и заключения; в работе содержится 39 рисунков, 15 таблиц. Список использованной литературы включает 130 наименований.

Автор выражает глубокую благодарность научным руководителям: профессору д.г.-м.н. Ю.Б. Тржцинскому и к.г.-м.н. В.М. Литвину за постановку темы и формирование научных взглядов, и навсегда сохранит о них светлую память. За поддержку и помощь в работе автор признателен научному консультанту к.г.-м.н. В.В. Акуловой. За ценные замечания и советы при подготовке работы проф. д.г.-м.н. К.Г. Леви, к.г.-м.н. Л.И. Аузиной, д.г.-м.н. В.К. Лапердина, к.г.-м.н. Е.А. Козыревой, к.г.-м.н. А.В. Кадетовой, к.г.-м.н. В.Н. Богданову, к.г.-м.н. М.Ю. Опекуновой. Автор весьма признателен всему коллективу лаборатории инженерной геологии и геоэкологии за создание оптимальных творческих и материальных условий для подготовки диссертации.

ОСНОВНЫЕ ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Первое защищаемое положение. Механизмы формирования и развития экзогенных геологических процессов (ЭГП) на территории города позволяют определить техногенез как ведущий процессоформирующий фактор.

Отметим, что принципиального различия в механизмах развития природных и природно-техногенных процессов не наблюдается. Развитие процессов и соответственно механизмы их развития определяются комплексом природных и техногенных факторов. Однако исследования показали, что в черте города развитие процессов часто отмечается на участках, где естественные условия трудно признать благоприятными. Здесь ведущая роль принадлежит техногенным факторам, они выступают как основной элемент в механизме развития процессов.

Рассмотрим ЭГП, распространенные на территории г. Иркутска и процессоформирующие техногенные факторы.

В процессе наблюдения и анализа была разработана и применена типизация ЭГП, распространенных на территории г. Иркутска. Все процессы разделены на два класса – природные и природно-техногенные – с выделением четырех групп по признаку обязательного условия, без которого развитие процесса не возможно (Экзогенные геологические опасности, 2002):

- ЭГП, вызванные действием подземных вод: подтопление, суффозия, просадки, заболачивание;
- ЭГП, вызванные деятельностью поверхностных вод: эрозия, абразия, заболачивание;
- ЭГП, обусловленные энергией рельефа: оползни, обвалы, осыпи;
- ЭГП, обусловленные климатическими факторами: солифлюкция, выветривание, пучение, осадка.

ЭГП, вызванные деятельностью подземных вод

Подтопление. Процесс подтопления является одним из наиболее широко распространенных и часто встречаемых процессов на городских территориях. Подъем уровня грунтовых вод вызывает обводнение пород, что приводит к ухудшению их прочностных свойств. Так, в районе

Академгородка в 1999 году при бурении была выделена толща лессовидных грунтов, находящаяся в зоне техногенного подтопления, где на глубине 8,7 м был зафиксирован *суглинок-плывун* (Акулова, 2001). Кроме этого, повышение уровня грунтовых вод вызывает увеличение сейсмичности территории (Долодаренко, Кригер, 1987).

По материалам Б.М. Шенькмана, Н.И. Демьянович, Л.И. Аузиной выделены основные техногенные факторы, оказывающие влияние на изменение уровня грунтовых вод в городе Иркутске:

- нарушение работы естественных дренажных систем;
- обходная фильтрация из Иркутского водохранилища;
- утечки из ливневых канализаций;
- утечки из водопроводных и канализационных сетей;
- самоподтопление зданий;
- нарушение естественных грунтовых водотоков в результате барражного эффекта фундаментов зданий и сооружений.

Заболачивание. К данной группе относятся заболоченные участки, питание которых осуществляется главным образом за счет подземных вод. К ним относятся следующие типы болот, выделенные Л.А. Сироткиным (1965): пойменные, притеррасовые, распадков; в процессе полевых наблюдений нами были выделен еще один тип – техногенные. Заболачивание, вызванное подъёмом уровня грунтовых вод, происходит в пониженных элементах рельефа, при близком залегании водоносного горизонта.

Заболоченные участки встречаются на поймах рек Ангары, Иркуты, Ушаковки, Топки и Каи, в долинах падей, где развитие процесса носит естественный характер. Притеррасовый тип отмечается на участках выхода грунтовых вод у подножия террас. Техногенный тип обусловлен воздействием техногенных факторов – утечки, барражный эффект и т.п.

Суффозионно-просадочные процессы. В настоящее время, практически на всей территории города, зафиксировано значительное количество различных по размерам провально-просадочных форм. Природный потенциал развития суффозионно-просадочного процесса исследуемой территории достаточно высокий и определяется наличием тонкодисперсных отложений значительной мощности и достаточной энергией фильтрационного потока, в дополнение к этому техногенная нагрузка также способствует их развитию и активизации. По результатам анализа распространения форм процесса было выявлено, что лишь в 9 % случаев влияние техногенных факторов не установлено. Техногенное воздействие на развитие суффозионно-просадочного процесса отмечается в основном в двух проявлениях: 1) создание искусственных грунтов, как правило, представленных переотложенными образованиями, которые при замачивании дают осадку, развивающуюся как за счет уплотнения отложений, так и за счет суффозионного выноса мелкой фракции; 2) это формирование в грунтовом массиве техногенных полостей, связанных с размывом вмещающих пород при утечке из водонесущих коммуникаций, а также с заброшенными подземными сооружениями (подвалы, колодцы и т.п.).

ЭГП, связанные с деятельностью поверхностных вод

Эрозия. Древние эрозионные формы, такие, как пади, балки, лога, встречаемые на территории города, указывают на благоприятные природные условия и длительную историю развития здесь эрозионного процесса.

В настоящее время среди эрозионных форм преобладающее распространение получили промоины. Они развиваются вдоль автомобильных и пешеходных дорог, в местах нарушения почвенно-растительного слоя даже при небольших уклонах поверхностей. Овражные формы встречаются чаще на неблагоустроенных участках. Отметим, что этот процесс по отношению к другим является более предсказуемым и, соответственно, контролируемым. Наблюдаются промоины и овраги, формирующиеся при совместном развитии эрозионного и суффозионного процесса. Наиболее часто они встречаются на склонах ангарских террас, в строении которых присутствуют лессовидные грунты.

В результате полевых наблюдений выделены следующие техногенные факторы, способствующие развитию эрозии:

- изменение поверхности рельефа;
- изменение путей водотока дождевых и талых вод, концентрация поверхностного стока;
- удаление почвенно-растительного покрова;
- аварии на водонесущих коммуникациях.

Главной причиной развития эрозионного процесса на территории города является изменение характера поверхностного стока вод, его концентрации, что приводит, к возникновению потоков с достаточной для развития эрозии энергией (Рыбченко, Кадетова, 2003).

Абразия (переработка берегов)

— единственный приобретенный процесс, образовавшийся в результате создания Иркутского водохранилища. Абразионному размыву подвержены оба берега водоема. Наиболее интенсивному размыву подвергается правый берег, который сложен делювиально-аллювиальными породами четвертичного возраста, представленными лессовидными суглинками и супесями. На левом берегу размываются породы юрской угленосной формации, более устойчивые к размыву. Проведенные стационарные исследования и последующее построение трёхмерных моделей берегового участка (Рыбченко, 2005), позволили установить механизм разрушения

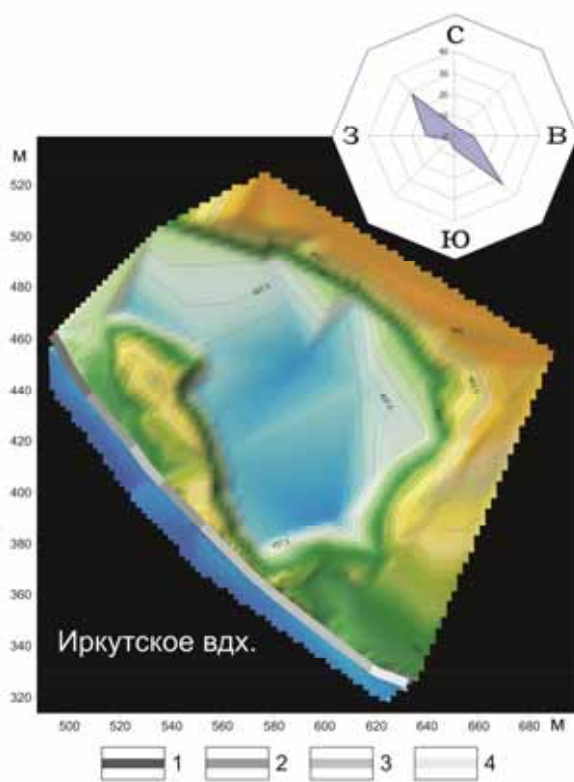


Рис. 1. Отступление бровки берегового уступа (ключевой участок «Солнечный»): 1 – более 3 м; 2 – от 3 м до 2 м; 3 – от 2 м до 1 м; 4 – менее 1 м.

берегового массива и определить скорости разрушения на участке (рис. 1). Так, наибольшая скорость разрушения северо-западной части участка связана с преобладанием ветров юго-восточного направления.

Для территории города Л.А. Сироткиным (1965) выделены террасовые и водораздельные типы болот, отличающиеся от остальных по типу питания, которое осуществляется исключительно за счет атмосферных осадков. Но их распространение носит локальный характер, и ликвидация не вызывает проблем, поэтому они не оказывают существенного влияния на инженерно-геологические условия территории города.

ЭГП, обусловленные энергией рельефа

К этой группе относятся гравитационные процессы. На территории города отмечаются следующие типы склоновых процессов – оползни, обвалы и осыпи.

Оползни – самый распространенный процесс среди гравитационных и один из наиболее опасных в регионе. Площади оползневых участков иногда достигают 0,09 км² (район курорта «Ангара»). Оползневые процессы на данной территории имеют длительную историю развития и изучались многими исследователями, работавшими в этом регионе (Маслов, 1933; Сироткин, 1964; Тржцинский, 1969, 1996, 1997; Демьянович, 1965, 1976). Естественные условия – геологическое строение и морфологические характеристики склонов – создают благоприятную обстановку для развития данного процесса под влиянием техногенеза (Рыбченко, 2002).

Обвалы и осыпи. Для развития этих процессов необходимым условием является наличие крутых или отвесных склонов. Ограниченное распространение таких участков на территории города объясняет их слабое развитие. Иногда техногенные обвалы и осыпи формируются на крутых откосах карьеров и берегах Иркутского водохранилища; развитие процессов происходит как в рыхлых, так и в коренных породах.

Среди основных техногенных факторов, вызывающих активизацию гравитационных процессов, необходимо отметить, в первую очередь, подрезку существующих склонов, формирование искусственных откосов, загрузку бровки склонов, а также увлажнение массивов пород. Эти факторы вызывают нарушение динамического равновесия склонов. Некоторые факторы, такие, как дополнительное увлажнение, вибрационное воздействие, приводят к изменению свойств грунтов массива, снижая их прочностные показатели.

ЭГП, обусловленные климатическими факторами

Солифлюкция. Процесс развивается в основном на незалесенных склонах юго-западной экспозиции, сложенных рыхлыми супесчаными и суглинистыми породами, обладающими высокой степенью водонасыщения. Часто процессом поражены искусственные откосы и борта карьеров (м/р «Солнечный»)

Выветривание. Прочность пород и их устойчивость к выветриванию определяется многими факторами, среди которых важнейшими являются характер структурных связей, степень литификации пород, их тектоническая раздробленность, а также климатические условия района (частый переход

температуры через 0°). Выветривание пород коренной основы приводит к снижению их прочности и играет существенную роль в подготовке к развитию многих процессов. Так, в результате морозного выветривания в породе происходит разрушение структурных связей, прочностные параметры при этом снижаются в 2–4 раза (Лещиков, Шац, 1983), что приводит к отслаиванию грунта в виде плит и осыпанию, а также делает его менее устойчивым к размыву.

На городских территориях ситуация с изменением температурного режима грунтов исключительно сложная и многообразная. Тепловое техногенное воздействие, производственных, жилых и коммунальных сооружений, приводит к образованию аномальных участков пониженной и повышенной относительно фоновой температур (Лещиков, 1998).

Неравномерное увлажнение глинистых грунтов в пределах зоны промерзания-оттаивания приводит к формированию процессов *пучения* и *осадки*, вызывающих разрушения и деформации искусственных покрытий (площадей, дорог).

На развитие криогенных процессов и выветривания оказывают влияние следующие техногенные факторы:

- вскрытие пород в результате строительных работ;
- создание искусственных покрытий, затрудняющих испарение;
- тепловое воздействие техногенных источников;
- удаление снежного покрова;
- создание искусственных откосов;
- утечки из водонесущих коммуникаций в зимний период.

Таким образом, анализ современного инженерно-геодинамического состояния ГС территории города показывает, что развитие ЭГП наблюдается в местах не только с благоприятными природными условиями, но и на участках, где такие условия отсутствуют. При этом техногенные факторы выступают как недостающий элемент в механизме развития процесса, формируя комплекс условий, необходимый для развития ЭГП. Таким образом, техногенез выступает как ведущий процессформирующий фактор.

Второе защищаемое положение. *Оценка общей опасности ЭГП включает анализ разработанных инженерно-геодинамических карт территории города и шкалы категории опасности процессов.*

В своей работе автор придерживается терминологии предложенной А.И. Шеко (Опасные экзогенные процессы, 1999), опасность – это вероятность проявления экзогенных геологических процессов в заданное время и с определенными энергетическими характеристиками.

Для «качественной» оценки опасности предложено использовать следующие показатели: *вероятность развития процесса* – определяется комплексом естественных условий, благоприятствующих развитию ЭГП; *энергетический класс* – размером форм и другими метрическими показателями – категорией опасности процесса.

Фактологической базой для расчета вероятности развития ЭГП послужили фондовые и опубликованные материалы, отражающие геологические, геоморфологические, гидрогеологические, гидрологические и

климатические условия ГС. В частности, были использованы следующие оцифрованные в границах города картографические материалы:

- геологическая карта, м-ба 1: 50000 (Пермяков и др., 1985);
- геоморфологическая карта, м-ба 1:50000 (Геоэкологическая характеристика..., 1990);
- карта типизации геологической среды по типам грунтовых массивов, м-ба 1: 25000 (Рященко, Акулова, 2005);
- схематическая карта распространения лёссовых пород на территории города Иркутска, м-ба 1:25000 (Гринь, Рященко, 2005);
- цифровая модель топоосновы, м-ба 1:10000 и м-ба 1: 25000;
- карта микросейсмораионирования территории г. Иркутска м-ба 1:10000 (ВостСибТИСИЗ, 1988);
- карта-схема уровня грунтовых вод (по материалам Б.М. Шенькмана, Н.И. Демьянович, Л.И. Азуиной);
- цифровая модель гидрологической сети г. Иркутска м-ба 1:10000 (В.Н. Богданова).

Первоначально по литературным, фондовым материалам и результатам полевых наблюдений проводилось определение естественных условий ГС, сопутствующих развитию ЭГП различного генезиса. Полученные данные сопоставлялись с имеющимся картографическим материалом. Эти исследования позволили провести ранжирование условий ГС по их благоприятствованию к развитию ЭГП и дать их оценку. Условия оценивались в баллах, отражающих степень вероятности развития процесса, от 0 до 2, где 0 – низкая, 1 – средняя, 2 – высокая вероятность развития. Результаты оценки получили отражение на цифровых тематических картах, представляющих собой комплекс полигонов, каждый из которых представляет определенное условие ГС и его балльную оценку.

Полученные материалы позволили произвести расчетное построение карт, отражающих вероятность развития ЭГП. Согласно Г.А. Голодковской карты такого типа называются инженерно-геодинамическими и отражают «предрасположенность территории к тем или иным процессам» (Голодковская, Елисеев, 1989, с. 47). Для этого оцененные на предыдущем этапе условия включались в комплексы первостепенных условий ГС, определяющих развитие процессов. Расчеты были проведены для основных типов ЭГП, распространенных на территории города, по предложенной формуле:

$$F = \left(\sum_{i=1}^n a_i \right) / n, \text{ где } F - \text{фактор вероятности, } i - \text{индекс суммирования, } n - \text{число условий, } a - \text{условие.}$$

В ходе расчета происходило сложение баллов условий, определяющих развитие процесса, посредством SQL-запросов в ГИС. Суммарное значение наложений полигонов разных тематических карт отражает совокупность условий, благоприятствующих развитию процесса. Чем выше сумма баллов, тем выше вероятность развития процесса. Деление на число условий необходимо для приведения полученных карт к единой градации оценки вероятности развития ЭГП, для дальнейших расчетов.

Проведены расчеты для построения следующих инженерно-геодинамических карт: гравитационных, эрозионных, абразионных, суффозионно-просадочных процессов, отражающих их вероятностно-площадное развитие.

Инженерно-геодинамическая карта подтопления. Карта создана на основе материалов гидрогеологических исследований (Демьянович, 1997; Шенькман и др., 1998; Аузина, 2000).

Выделены подтопленные участки, являющиеся территориями с положением уровня зеркала грунтовых вод в пределах 0 – 3 м. К ним относятся поймы рек Ангары, Иркуты, Ушаковки и Каи, а также пади с водотоками. Также, по данным Н.И. Демьянович, выделены зоны техногенного подтопления. Формирование таких участков происходит в результате техногенных утечек, если в разрезе присутствуют непроницаемые или слабоводопроницаемые породы. Участки с уровнем грунтовых вод от 3 до 8 м относятся к территориям с высокой предрасположенностью к подтоплению, особенно в условиях техногенной нагрузки. Распространены такие участки на низких террасах Ангары и Ушаковки. Положение уровня грунтовых вод ниже 8 м позволяет отнести территории к участкам низкой вероятностью развития подтопления. К таким участкам относятся третья, четвертая терраса и коренные склоны водоразделов. Положение уровня грунтовых вод на таких территориях не оказывает заметное влияние на инженерно-геологические условия.

Инженерно-геодинамическая карта суффозионно-просадочных процессов. Данный тип процессов является одним из самых распространенных на территории города.

Проведенные расчеты показали, что довольно значительные площади городской территории имеют высокую степень вероятности его развития. Она характерна для участков, в геологическом строении которых присутствует мощная (до 20 м) толща рыхлых, часто лёссовидных, отложений. К участкам средней степени вероятности относятся территории с мощностью рыхлых отложений 3-10 м и островным залеганием лёссовидных грунтов. Участки низкой вероятности развития процесса характеризуются малой мощностью рыхлых отложений до 3 м и отсутствием лёссовидных грунтов. Такие участки расположены на водораздельных пространствах и крутых склонах.

Инженерно-геодинамическая карта эрозионных процессов. На территории города вероятность развития эрозионных процессов отмечается на значительной площади и распределена достаточно равномерно.

Высокая степень вероятности приходится на участки мощной толщи четвертичных отложений (аллювиального и делювиального генезиса), с наличием лёссовых грунтов и уклоном поверхности от 11° и выше. Участки средней степени приходятся на отложения террас и на коренные склоны, где развитие процесса происходит в делювиальных отложениях и на более пологих участках. Участки низкой вероятности развития процесса обуславливаются выровненной поверхностью и малой мощностью рыхлых отложений.

Инженерно-геодинамическая карта гравитационных процессов. Гравитационные процессы, главным образом оползни, представляют наивысшую категорию опасности среди экзогенных геологических процессов в районе, несмотря на локальный характер их распространения.

Наибольшее распространение участков высокой степени вероятности развития гравитационных процессов наблюдается на коренных склонах рек Ангары, Иркута и др., а также на левом берегу Иркутского водохранилища. Высокая вероятность развития гравитационных процессов на этих участках определяется специфичными свойствами юрских пород (Демьянович, 1965; Тржцинский, 1986) и достаточно высокой степенью крутизны склонов. Участки средней степени вероятности расположены в основном в тех же районах. Часть участков находится на крутых склонах террас р. Ангары.

Инженерно-геодинамическая карта абразионных процессов. Абразионный процесс развивается по берегам Иркутского водохранилища. Наибольшему размыву подвергаются участки береговой линии, расположенные на правом берегу водохранилища, что обусловлено геологическим строением участка, который сложен четвертичными отложениями делювиального и аллювиального генезиса. Наиболее уязвимы незакрепленные участки с высоким береговым уступом, выходящие в акваторию водохранилища, где энергия волнения наиболее сильная. В меньшей степени размываются участки на левом берегу водохранилища, сложенные юрскими породами. Несмотря на достаточно сильную энергию волнения, высокий и крутой береговой уступ, разрушения происходят медленно из-за достаточной прочности и водостойкости пород.

Следующим этапом стало определение категории опасности процессов, для которых были построены инженерно-геодинамические карты. Данная операция обусловлена тем, что различные типы процессов представляют разную категорию опасности и их общее рассмотрение представляется не корректным. Категория опасности определялась по СНиПу 22-01-95, в котором указаны различные показатели, характеризующие опасность процесса: объём смещающихся или разрушенных пород, скорость развития, площадь поражения и т.п. В соответствии с ними была составлена шкала опасности ЭПП г. Иркутска (табл.1).

Таблица 1. Шкала опасности экзогенных геологических процессов г. Иркутска.

Геологические процессы	Категория опасности геологических процессов (балл)		
	Умеренно опасные (1)	Опасные (2)	Весьма опасные (3)
Гравитационные			
Абразия			
Суффозионно-просадочные			
Эрозия			
Подтопление			

Создание общей карты опасности, отражающей вероятность развития и категорию опасности всех рассмотренных типов процессов, осуществлялось с использованием инженерно-геодинамических карт и шкалы категории опасности каждого процесса. Произведение исходного балла степени вероятности развития каждого типа процесса и его категории опасности является итоговой оценкой опасности процесса: $P = F \cdot A$, где P – опасность, F – фактор вероятности, A – категория опасности. Полученные результаты сводились в один тематический слой. При этом оценочные полигоны разных процессов выносились слоями согласно с их балльной оценкой опасности, верхний слой соответствовал максимальному значению, чтобы не допустить перекрытия.

Созданная в результате расчетов карта отражает общую оценку опасности ЭГП городской территории (рис. 2).

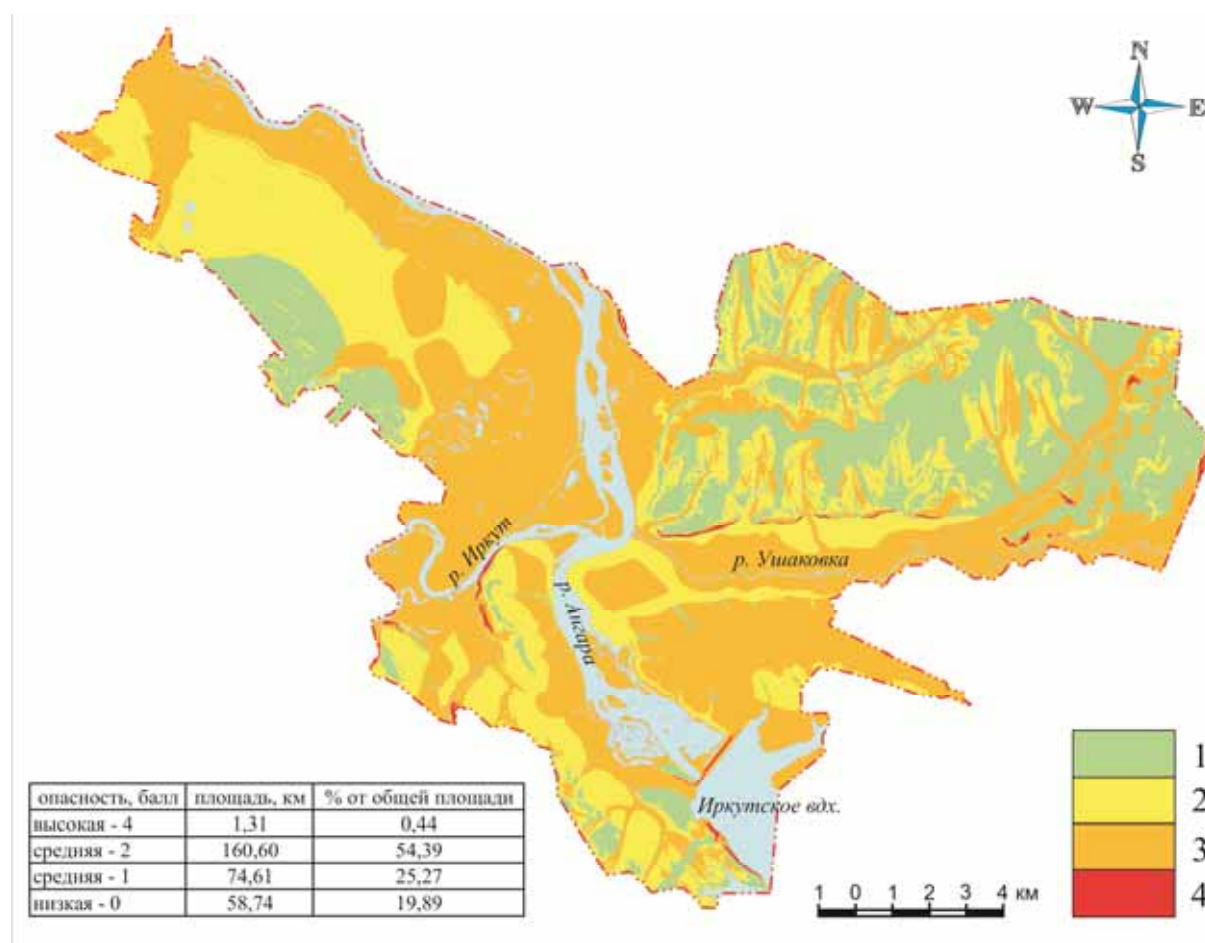


Рис. 2. Карта опасности ЭГП на территории г. Иркутска: 1 – низкая опасность; 2, 3 – средняя опасность; 4 – высокая опасность.

Третье защищаемое положение. Зонирование площади города по степени опасности ЭГП отражает инженерно-геодинамическое состояние территории. Составленная картографическая модель определяет ведущую роль подтопления и суффозионно-просадочных процессов в формировании современного состояния ГС г. Иркутска.

Площадная оценка основана на анализе построенных инженерно-геодинамических карт. Полученные данные показали распространение основных ЭГП и предрасположенность территории к их развитию, что в

результате позволило выявить наиболее опасные участки территории города и определить роль процессов, оказывающих наибольшее влияние на инженерно-геодинамическую обстановку.

Результаты расчетов показали, что наибольшее площадное распространение высокой степени опасности имеет подтопление – 86,5 км². На втором месте находятся суффозионно-просадочные процессы, занимая 25,1 км². Гравитационные и эрозионные процессы занимают примерно одинаковые площади, соответственно 1,3 км² и 1,1 км², имея при этом самую высокую категорию опасности. Освоение этих территорий без дополнительного укрепления представляется ограниченным либо невозможным.

Максимальная площадь участков распространения ЭГП средней степени опасности приходится на эрозионные процессы – 93,8 км², примерно одинаковые площади имеют суффозионно-просадочные процессы – 28,4 км² и подтопление – 27,3 км², минимальные площади приходятся на гравитационные процессы – 18,7 км² (табл. 2).

Таблица 2. Площадное распространение ЭГП на территории г. Иркутска

Процесс	Степень вероятности развития	Площадь, км ²	%, от общей площади г. Иркутска
Подтопление	высокая	86,5	31,9
	средняя	27,3	10,1
	низкая	148,2	54,7
Суффозионно-просадочные	высокая	25,1	9,3
	средняя	28,4	10,5
	низкая	217,3	80,2
Эрозионные	высокая	1,1	0,4
	средняя	93,8	34,6
	низкая	175,9	65
Гравитационные	высокая	1,3	0,5
	средняя	18,7	6,9
	низкая	250,8	92,6
Абразия* (в пределах Иркутского вдх.)	высокая	2,33 км	12,7
	средняя	3,27 км	17,9
	низкая	12,7 км	69,4

**Примечание - распространение абразии измеряется по протяженности в км.*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов исследований, полученных за время выполнения диссертационной работы, позволяет сделать следующие выводы.

По результатам анализа инженерно-геологических условий установлено, что ГС территории города обладает природным потенциалом для развития таких процессов, как подтопление, заболачивание, суффозионно-просадочные, гравитационные и эрозионные. Этому способствует геологическое строение юрских отложений, наличие лёссовых грунтов,

расчлененность рельефа, особенности гидрографической сети, гидрогеологическая обстановка и т.п. Наличие древних форм ЭГП объективно подтверждает этот вывод.

Влияние техногенеза способствует формированию дополнительных условий развития различных природно-техногенных процессов, которые на участках в естественной среде отсутствуют. Поэтому предсказать формирование какого-либо процесса на территории города на данном этапе его развития, используя исключительно данные естественных условий, не всегда представляется возможным. Техногенез не только активизирует процессы, исторически развивающиеся на данной территории, но и вызывает появление новых, ранее не существовавших, в частности абразии и техногенного подтопления.

При инженерно-геодинамическом прогнозе на современном этапе необходимо не только анализировать естественные условия ГС, но и учитывать возможные негативные факторы техногенной нагрузки от строительства и эксплуатации различных типов инженерных сооружений. Обоснованная оценка эффекта техногенного воздействия на геологическую среду есть ключ к предсказанию активизации процессов и явлений. Только таким образом, учитывая комплекс природных и техногенных составляющих, можно предоставить качественный прогноз развития природно-технической системы, рассчитать риск и уменьшить вероятность экономического и социального ущерба от ЭГП.

Наибольшее распространение ЭГП высокой вероятности развития, на территории г. Иркутска по площади занимают подтопление ($86,5 \text{ км}^2$) и суффозионно-просадочные процессы ($25,1 \text{ км}^2$). Именно они определяют ведущую роль в формировании современного инженерно-геодинамического состояния ГС города. Максимальную категорию опасности на территории города, получили оползни и абразия. Однако участки их распространения несравненно меньше: оползни – $1,3 \text{ км}^2$, абразия – $2,33 \text{ км}^2$. Участки с высокой степенью вероятности развития этого процесса являются непригодными для строительства по причине его активизации и соответственно риска деформации для инженерных объектов.

Кроме этого инженерно-геологические условия региона осложняются его сейсмической активностью до 9 баллов (ВостСибТИСИЗ, 1988).

Таким образом, сложность инженерно-геодинамической обстановки определена комплексом естественных условий и наложенной техногенной нагрузкой и характеризуется широким распространением подтопления и суффозионно-просадочных процессов.

ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статья в журнале из списка ВАК

1. Кадетова А.В., **Рыбченко А.А.**, Тржцинский Ю.Б. Современная геоэкологическая ситуация на территории города Иркутска // **География и природные ресурсы**. – 2008. – №1. – С. 55–62.

Монография

2. Экзогенные процессы в геологической среде. Оценка природных опасностей / Лапердин В.К, Козырева Е.А., Радзиминович Я.Б.,..., **Рыбченко А.А.**,... – Иркутск–Сосновец: Институт земной коры СО РАН, Силезский университет, Факультет наук о земле, 2008. – 107 с.

Статьи:

3. Литвин В.М., Акулова В.В., **Рыбченко А.А.**, Большаков А.Г. Эколого-геодинамические особенности паркового ландшафта (на примере музея-усадьбы Сукачева В.Н. в Иркутске). // Сергеевские чтения. Вып. 3. М.: ГЕОС, 2001. – С. 234–237.

4. Кадетова А.В., **Рыбченко А.А.** Техногенные факторы развития опасных геологических процессов на территории г. Иркутска// Областная научно-практическая конференция. Анализ, оценка и управление рисками на уровне региона: техногенные, природные и социальные аспекты. – Иркутск, 2001. – С. 250–256.

5. Литвин В.М., Акулова В.В., **Рыбченко А.А.** Инженерно-геодинамическая оценка рекреационного объекта г. Иркутска // Геология, поиск и разведка полезных ископаемых. Сборник избранных трудов научно-технической конференции. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2002.– С. 281–286.

6. **Рыбченко А.А.** Условия развития оползней на территории города Иркутска./ Первая Сибирская международная конференция молодых ученых по наукам о Земле. Новосибирск, 2002.– С. 132–134.

7. Литвин В.М., **Рыбченко А.А.**, Акулова В.В. Оценка суффозионно-просадочного потенциала геологической среды городской экосистемы // Сергеевские чтения. Вып. 5. – М.: ГЕОС, 2003.– С. 184–189.

8. **Рыбченко А.А.**, Кадетова А.В. Техногенные факторы активизации эрозионного процесса на городской территории./ Современные вопросы геологии. – М.: Научный мир, 2003.– С. 429–431.

9. **Рыбченко А.А.**, Жентала М., Моленда Т. Развитие антропогенно измененных территорий // Строение литосферы и геодинамика: Мат-лы XXI Всероссийской молодежной конференции. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2005.– С. 227–229.

10. **Рыбченко А.А.** Рыхлые грунты как фактор устойчивости городских территорий (на примере микрорайона «Солнечный») // Теоретические и прикладные вопросы современной географии: Мат-лы Всероссийской школы-семинара 27–28 апреля 2005 г. – Томск: «Дельтаплан», 2005.– С. 290–292.

11. Акулова В.В., **Рыбченко А.А.**, Худоногова Е.В., Филева Т.С. Роль техногенных грунтов в формировании геоэкологического состояния городской территории // Город и геологические опасности: Мат-лы Межд. конф. Ч.1.- СПб, 2006.– С. 4–9.

12. Рященко Т.Г., Акулова В.В., **Рыбченко А.А.**, Гринь Н.Н. Лёссовые грунты как фактор эколого-геодинамического состояния территории г.Иркутска // Проблемы инженерной геодинамики и экологической геодинамики. (Труды межд. конф.). – М.: Изд-во Московского университета, 2006.– С. 156–161.

13. **Рыбченко А.А.**, Худоногова Е.В., Акулова В.В. Литотехнические системы как компонент геологической среды // Сергеевские чтения. Вып. 10. М.:, ГЕОС, 2008.– С. 248–252.
14. **Рыбченко А.А.** Оценка опасности ЭГП при строительстве линейных сооружений. Трофимуковские чтения – 2008: Труды Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых / – Новосибирск: Ин-т нефтегазовой геологии и геофизики им А.А. Трофимука СО РАН, 2008. Т. 2.– С. 101–104.
15. **Рыбченко А. А.**, Кадетова А. В. Современное экзогеодинамическое состояние геологической среды территории города Иркутска // Z BADAN NAD WPLYWEM ANTROPOPRESJI NA SRODOWISKO. Tom 4. – SOSNOWIEC, 2003.– С. 87–91.
16. **Рыбченко А.А.**, Кадетова А.В., Мазаева О.А., Козырева Е.А. Природно-техногенные факторы развития локальных систем городских территорий // Z BADAN NAD WPLYWEM ANTROPOPRESJI NA SRODOWISKO. Tom 6. – SOSNOWIEC, 2005.– С. 71–77.
17. Kadetova A.W., **Rybczenko A. A.**. Rozwoj miast syberyjskich zmiany powierzchniowej sieci hydrograficznej (na przykladzie Irkucka) // Acta Geographica Silesiana, 1. WNoZ US, Sosnowiec 2007.– S. 23–28.
18. Kadetova A.V., Kozyreva E.A., **Rybchenko A.A.** Degradation of shores in the urban area of Irkutsk city under the influence of man-made reservoir // Bulletin of the Geological Society of Greece, vol. XXXVII, 2007.– P. 1433–1439.
19. Kadetova A.V., **Rybchenko A.A.**, Trzhcinsky Yu.B. Technogenic change of the geological environment of urban areas (by the example of Irkutsk town) // Bulletin of the Geological Society of Greece, vol. XXXVII, 2007.– P. 1440–1448.

Подписано к печати 14 мая 2009 г.
Формат 60x84/16. Бумага офсетная №1. Гарнитура Таймс.
Печать Riso.
Усл. Печ. л. 1.25. Тираж 120 экз. Заказ 610
Отпечатано в типографии Института земной коры СО РАН.
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.