

На правах рукописи

ЛАВРУСЕВИЧ Андрей Александрович

**НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗУЧЕНИЯ И ОЦЕНКИ
ЛЁССОВОГО ПСЕВДОКАРСТА В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕНЕЗА**

25.00.36 – Геоэкология (науки о Земле)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук

Москва – 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный строительный университет»

Научный консультант: доктор геолого-минералогических наук,
Хоменко Виктор Петрович

Официальные оппоненты:

Круподеров Владимир Степанович,
доктор геолого-минералогических наук,
профессор, директор ФГУП «ВСЕГИНГЕО»

Кузькин Вячеслав Иванович,
доктор геолого-минералогических наук, главный
научный сотрудник ФГУП «ВИМС»

Мавлянова Надира Ганиевна,
доктор геолого-минералогических наук,
главный научный сотрудник ФГБУН Института
геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН

Ведущая организация: Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе»

Защита состоится « 8 » ноября 2013 г. в 11⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д 216.005.01 ФГУП "Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М.Федоровского" (ФГУП «ВИМС»), адрес: 119017, Москва, Старомонетный пер., д.31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГУП «ВИМС»

Автореферат разослан « » 2013 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Луговская И. Г.

Введение. Одним из главнейших событий в истории современного человечества является эмпирическое обнаружение грозной опасности, нависшей над биосферой и всеми живыми существами на Земле. Эта опасность в научной литературе названа - техногенезом и представляет собой процесс изменения природных комплексов и биогеоценозов под воздействием производственной деятельности человека. (Реймерс, 1990, ГОСТ 17.5.1.01-83). Действительно, с начала 20-го века деятельность технически вооруженного человечества стала сопоставима с геологическими силами, меняющими облик Земли.

Работа посвящена одному из частных вопросов взаимодействия компонентов в сложной цепи Человек-Общество-Техника-Среда. Это опасный для среды обитания человека процесс, возникающий в геологических массивах сложенных лёссовыми породами под воздействием техногенеза. Лёссовые породы очень чутко реагируют на малейшие изменения окружающей среды, теряя при любом воздействии на них свои уникальные свойства. Эта потеря свойств проявляется в виде целой серии сложных физико-химических процессов, иногда протекающих стремительно и имеющих серьезные последствия для окружающей среды и возведенных человеком сооружений. Выражается это, в первую очередь, в виде просадочности и лёссового псевдокарста.

Просадочность и лёссовый псевдокарст – два разных геологических феномена. Их объединяет общая среда развития – лёссовые породы, способные и к просадочности, и к псевдокарстованию. Медленное, площадное повышение влажности лёссовых пород, как правило, вызывает просадку, но исключает развитие псевдокарста. Для развития псевдокарста необходимо турбулентное движение потока воды вниз по трещинам, ходам землероев, корнеходам и т.д. То есть, в отличие от просадочности, не происходит смачивание массива полностью, хотя нередко эти два процесса действуют совместно.

Актуальность темы исследования. Проблема хозяйственного освоения территорий распространения лёссового псевдокарста до сих пор не получила должного теоретического и практического обоснования. В силу ряда причин роль этого процесса длительное время недооценивалась. До сих пор не существует общей теории процесса лёссового псевдокарста, не определена его роль среди других экзогенных геологических процессов. Среди научных работников, изыскателей и проектировщиков преобладает так называемый «пообъектный» или кластерный подход, когда лёссовый псевдокарст рассматривается лишь как частный случай. При этом отсутствуют: общая координация действий специалистов, изучающих этот феномен; унификация понятийного аппарата; общепринятые целевые установки и подходы – всё это в совокупности не позволяет в полной мере учитывать и применять накопленный опыт взаимодействия человека с лёссовым псевдокарстом для предотвращения тяжёлых последствий и эффективной борьбы с этим опасным явлением.

Назрела необходимость обобщения многочисленных фактов проявления лёссового псевдокарста в рамках единого теоретического

представления, на основании которого необходимо разработать общие принципы и подходы к хозяйственному использованию лёссовых территорий потенциально уязвимых и уже пораженных лёссовым псевдокарстом.

Цель исследования– создание научно-методических основ изучения сложной геозкосистемы лёссового псевдокарста для безопасного хозяйственного освоения территорий распространения лессовых пород и разработки соответствующих защитных мероприятий как в условиях существующей инфраструктуры, так и в случае перспективного хозяйственного освоения.

Задачи исследований:

1. Определить основной комплекс факторов формирования и развития лёссового псевдокарста на основе натурных и полевых исследований.
2. Установить закономерности формирования типов лёссового псевдокарста, динамику и стадии его развития, формы проявления в разнотипных геолого-геоморфологических обстановках.
3. Разработать комплекс критериев опасности и уязвимости лёссового псевдокарста для оценки степени риска при его развитии.
4. Определить роль техногенеза в формировании лёссового псевдокарста.
5. Разработать методические рекомендации по локализации и предотвращению развития лёссового псевдокарста.

Научная новизна.

1. Автором выделены и детально охарактеризованы новые формы и типы лёссового псевдокарста. Определены динамика и комплекс факторов (в том числе биологических), как способствующих, так и препятствующих формированию лёссового псевдокарста. Установлены новые формы рельефа формируемые лёссовым псевдокарстом, которые вошли в основу усовершенствованной классификации.
2. Разработаны критерии оценки лёссовых массивов по их уязвимости лессовым псевдокарстом. Показана степень опасности и риска псевдокарстового феномена.
3. При изучении и оценке пораженности лёссовых территорий псевдокарстом установлено, что при сочетании геологических процессов (овраги, оползни, абразия, сейсмичность) с лёссовым псевдокарстом скорость разрушения лёссовых массивов значительно возрастает или приводит к возникновению катастрофических ситуаций.
4. Разработаны предварительные рекомендации по условиям безопасного строительства и эксплуатации инженерных сооружений на лёссовых массивах.
5. Выявлено, что при соблюдении норм водопользования и организации цивилизованного сброса воды, скапливающейся на поверхности лессового массива, до местного базиса эрозии, псевдокарст отсутствует или формируется крайне медленно.

Теоретическая значимость работы. Заключается в выделении новых форм и типов лёссового псевдокарста и расширении классификации псевдокарстовых форм рельефа, а также в разработке критериев оценки

опасности и уязвимости псевдокарстом лёссовых массивов. Полученные знания о феномене лёссового псевдокарста, позволяют поставить его в один ряд с такими опасными геологическими процессами как карст, оползни, абразия, сели и др.

Практическая значимость темы диссертационного исследования.

1.Выполненные автором за период с 1979 по 2012гг. исследования лёссового псевдокарста в различных регионах мира послужили материалом для научного обобщения, которое является важным вкладом в решение народнохозяйственной задачи по освоению и эксплуатации массивов, сложенных лёссовыми породами.

2.Результаты изучения лёссового псевдокарста, оценки поражённости, опасности и уязвимости лёссовых массивов псевдокарстом, могут успешно применяться проектно-изыскательскими организациями при подготовке документации на предпроектных стадиях и стадиях проектирования, а также использоваться для оценки инвестиционной перспективы, освоения территорий развития лёссовых пород;

3.Предложенные автором защитные мероприятия по локализации и предотвращению развития псевдокарста, а в случае его формирования, по восстановлению нарушенных псевдокарстом лёссовых массивов необходимы при строительном и сельскохозяйственном освоении лёссовых территорий.

4.Установленные факторы, механизмы и скорости развития лёссового псевдокарста позволят эксплуатирующим организациям принимать оперативные управленческие меры по предотвращению значительных экономических ущербов в случае формирования лёссового псевдокарста.

5.Результаты исследований автора используются изыскательскими подразделениями институтов «ТаджикГИИНТИЗ», «Таджикгипроводхоз» и ПО «Таджикгеология» в Республике Таджикистан, а также изыскательскими подразделениями ОАО «Орёлгеология».

Отдельные разделы диссертации используются при преподавании студентам МГСУ дисциплин: «Общая геология», «Инженерная геология».

Объект и методика исследований. Объектом исследования является лёссовый псевдокарст в пределах России, стран СНГ, Китая и Европы.

При сборе и обработке материалов автор применял, прежде всего, методы инженерно-геологических исследований. На опорных участках, под руководством автора, были проведены инженерно-геологические съёмки масштабов 1:50000, 1:25000, 1:10000, 1:5000 и 1:1000, горно-проходческие и буровые работы, полевые испытания грунтов и горных пород (динамическое и статическое зондирование, штампы, опытные наливывы в шурфы, опытные нагнетания, опытные одиночные и кустовые откачки, геофизические исследования и др.). Аэровизуальные наблюдения проведены автором на опорных участках, а также при повторных облётах на изучаемых участках в течение ряда лет, с целью выявления массивов, поражённых лёссовым псевдокарстом и определения динамики их разрушения (повторное фотографирование). В процессе работы применялись методы математической статистики и математическое моделирование, а также осуществлялась

обработка данных на персональных компьютерах. Проведено определение минерального, гранулярного состава лёссов, слагающих опытные участки. Для анализа микробиологического состава лёссовой корочки проведены посеы проб, содержащие актиномицеты, грибы, и водоросли. Помимо изучения микрофауны велись наблюдения за мелкими и крупными норными роющими млекопитающими, а также была исследована корневая система высших растений. Кроме того, автор применял уникальные методы фрактального анализа для исследования динамики и прогноза развития лёссового псевдокарста. Все это обеспечило необходимую достоверность основных положений и выводов.

Личный вклад автора. На протяжении более 3-х десятков лет автор лично проводил инженерно-геологические и геоэкологические исследования лёссового псевдокарста в различных регионах мира, собирал и анализировал материалы посвященные феномену лёссового псевдокарста, а также обобщал отечественные и зарубежные литературные данные. В основу работы легли собственные полевые исследования автора, которые проводились в различных районах Таджикистана и Южно-Таджикской депрессии в период с 1979 по 1997 годы. В Приташкентском районе Узбекистана в 2000 и 2002 годах, на Северном Кавказе в 2012 году, в Китайской Народной Республике (провинции Ганьсу, Шеньси и Шаньси) в 2009, 2010 годах, Сербской народной республике в 2012г. Стационарные исследования лёссового псевдокарста, в течение длительного времени, осуществлялись в Таджикистане на ключевых опорных участках в пределах Первомайской впадины района Нурекского водохранилища совместно с сотрудниками Южно-Таджикской гидрогеологической экспедиции; Яванской долины и плато Уртабоз совместно с институтом ТаджикГИИНТИЗ, Дангаринской степи, где автор работал старшим геологом партии ГПИ «Таджикгипроводхоз», а также в Тульской, Орловской, Курской, Воронежской, Белгородской и Волгоградской областях, где автор, в качестве доцента кафедры географии Орловского госуниверситета, проводил регулярные наблюдения за псевдокарстовыми явлениями. Стационарные и маршрутные исследования с использованием топографической основы, аэро- и космоснимков проходили в пределах всех перечисленных районов, что позволило создать крупномасштабные карты поражённости псевдокарстом ключевых участков и мелкомасштабные карты поражённости лёссовым псевдокарстом Юго-Западного Таджикистана и распространения псевдокарста на территории России.

Защищаемые положения:

1. Лёссовый псевдокарст проявляется в виде провалов, воронок, пещер, оврагов, останцев и других морфологически схожих с карстовыми подземных и поверхностных форм рельефа, образующихся в результате гидромеханического, гравитационного, физико-химического и биогенного разрушения лёссовых пород при их обводнении. Высокая скорость формирования лёссового псевдокарста во многих случаях позволяет считать

его более опасным для строительства геологическим феноменом чем просадочность.

2. Кроме интенсивности обводнения лёссовых пород, условия формирования лёссового псевдокарста и его динамика определяются особенностями: рельефа земной поверхности; климата; строения толщи лёссовых пород; жизнедеятельности организмов; техногенных воздействий на геологическую среду. В соответствии с этим выделены характерные типы лёссового псевдокарста, формирующиеся согласно определённым концептуальным моделям: придолинный, придолинно-балочный, балочный, приуроченный к откосам, а также типы, связанные с подземной экскавацией лёссов, с оползнеобразованием и с просадочностью.

3. Интенсивность формирования лёссового псевдокарста резко возрастает в условиях активного техногенеза. В нетронутых техногенезом лёссовых массивах, когда породы находятся в состоянии метастабильного равновесия, лёссовый псевдокарст не является характерным или развивается крайне медленно. В роли решающих факторов техногенеза выступают строительство, нарушение сплошности почвенного покрова в результате распахивания, утечки промышленных и бытовых вод, которые способствуют инфильтрации воды в лёссовый массив и т.д.

4. Установлены закономерности пространственного распространения лёссового псевдокарста, обусловленные рядом природных и, в основном, техногенных факторов, развитие которых отчётливо прослеживается на схематических картах территорий Яванской долины, Юго-Западного Таджикистана и России. Разработан комплекс критериев оценки опасности лёссового псевдокарста для различных видов строительства по данным инженерно-геологических изысканий.

5. Определены методические особенности проектирования промышленного, гражданского и транспортного строительства в условиях лёссового псевдокарста, с рекомендациями снижения ущерба при строительстве и эксплуатации зданий, сооружений и освоении сельхозугодий в районах распространения лёссовых пород при их техногенном обводнении.

Достоверность основных положений и выводов обеспечена сопоставлением теоретических (литературные источники) и практических (полученных автором в ходе исследований) результатов, а также постановкой собственных лабораторных и натурных экспериментальных исследований.

Апробация и внедрение результатов. Основные положения диссертации докладывались на конференциях, семинарах и совещаниях в городах Душанбе, Орел, Москва, Воронеж, Владивосток, Новороссийск, в том числе за последние три года на научных конференциях, в частности:

- Международной конференции, посвящённой 100-летию со дня рождения Г. А. Мавлянова. Ташкент, 2010г.
- Международной научной конференции «Актуальные вопросы инженерной геологии и экологической геологии». Москва, МГУ им. М.В.Ломоносова, 25-26 мая 2010г.

- Тринадцатой Международной межвузовской научно-практической конференции молодых ученых, докторантов и аспирантов «Строительство – формирование среды жизнедеятельности». МГСУ. Москва, 14 – 21 апреля 2010г.
- 7-ой международной конференции «Устойчивое развитие горных территорий в условиях глобальных изменений». Владикавказ, 14-16 сентября 2010г.
- 5-х и 6-х Денисовских чтениях. 2010 и 2013гг. МГСУ. Москва
- Международной конференции "Инженерная защита территорий и безопасность населения" (Engepro-2011). Москва, сентябрь 2011г.
- Международной научно-практической конференции «Ресурсно-экологические проблемы Волжского бассейна» г.Владимир, 20-22 октября 2011 года;
- Двенадцатой и четырнадцатой научных конференциях «Сергеевские чтения», проводимых Научным Советом РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Москва, март 2010 и 2012 гг.
- Российской конференции с международным участием «Геотехнические проблемы проектирования зданий и сооружений на карстоопасных территориях». Уфа, 2012г.
- Всероссийской научно-практической конференции «Геолого-геохимические проблемы экологии», Москва, 2012г.
- На расширенном заседании кафедры инженерной геологии и геоэкологии ФГБОУ ВПО «МГСУ» в 2009, 2010, 2011 и апреле 2012 года.
- International conference on loess research. INQUA. Loess in China and Europe 2012 – Novi Sad, Vojvodina, Serbia.
- На международной конференции «Геориск – 2012», г.Москва.
- International Symposium and 9th Asian Regional Conference of IAEG. 2013. Beijing. China.

Методика определения пораженности территории лёссовым псевдокарстом используются изыскательскими подразделениями ОАО «Орёлгеология».

Автором опубликована 61 работа, в том числе по теме диссертационного исследования опубликовано 47 работ, в изданиях, рекомендуемых Перечнем ВАК для публикации основных положений диссертации на соискание учёной степени доктора наук, – 19.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав и заключения. Объём работы составляет 326 страниц, в том числе 30 таблиц и 114 рисунков. Список литературы содержит 321 наименование, в том числе 58 ссылок на иностранные источники.

Пользуясь случаем, автор выражает благодарность за поддержку и ценные замечания в период работы над диссертацией заведующему кафедрой «ИГ и ГЭ» МГСУ проф., заслуженному геологу РФ д.т.н А.Д.Потапову и сотрудникам кафедры, сотруднице института геологии АН Республики Таджикистан В.Д. Салтовской, а также целеустремлённому сподвижнику по изучению псевдокарста в Таджикистане С.А.Лаврусевичу,

энтузиастам, любителям истории и уникальной природы Китая - П.В.Богачко и М.С. Завадскому за помощь в организации уникального маршрута протяженностью более 2500км по Лёссовому плато. Автор с благодарностью и теплом вспоминает своего первого научного руководителя проф. д.геол.-мин. наук Н.И. Кригера и проф. д.г.н. В.В.Добровольского за их поддержку и утверждения в соискателе веры в науку. Особую благодарность и признательность автор выражает своему научному консультанту д. геол.-мин. наук В.П.Хоменко за ценные рекомендации и замечания при написании диссертации, отзывчивость, доброжелательность, постоянную заботу и внимание.

Положение 1. Лёссовый псевдокарст проявляется в виде провалов, воронок, пещер, оврагов, останцев и других морфологически схожих с карстовыми подземных и поверхностных форм рельефа, образующихся в результате гидромеханического, гравитационного, физико-химического и биогенного разрушения лёссовых пород при их обводнении. Высокая скорость формирования лёссового псевдокарста во многих случаях позволяет считать его более опасным для строительства геологическим феноменом по сравнению с просадочностью.

Более ста лет идёт дискуссия о содержании понятия «псевдокарст». Изучению карстоподобных форм рельефа, образованных в результате иных процессов, посвящены многочисленные публикации отечественных и зарубежных авторов. Они отмечают, что основное отличие псевдокарста от карста – отсутствие карстующихся пород, хотя формы рельефа как подземные, так и поверхностные, одинаковы.

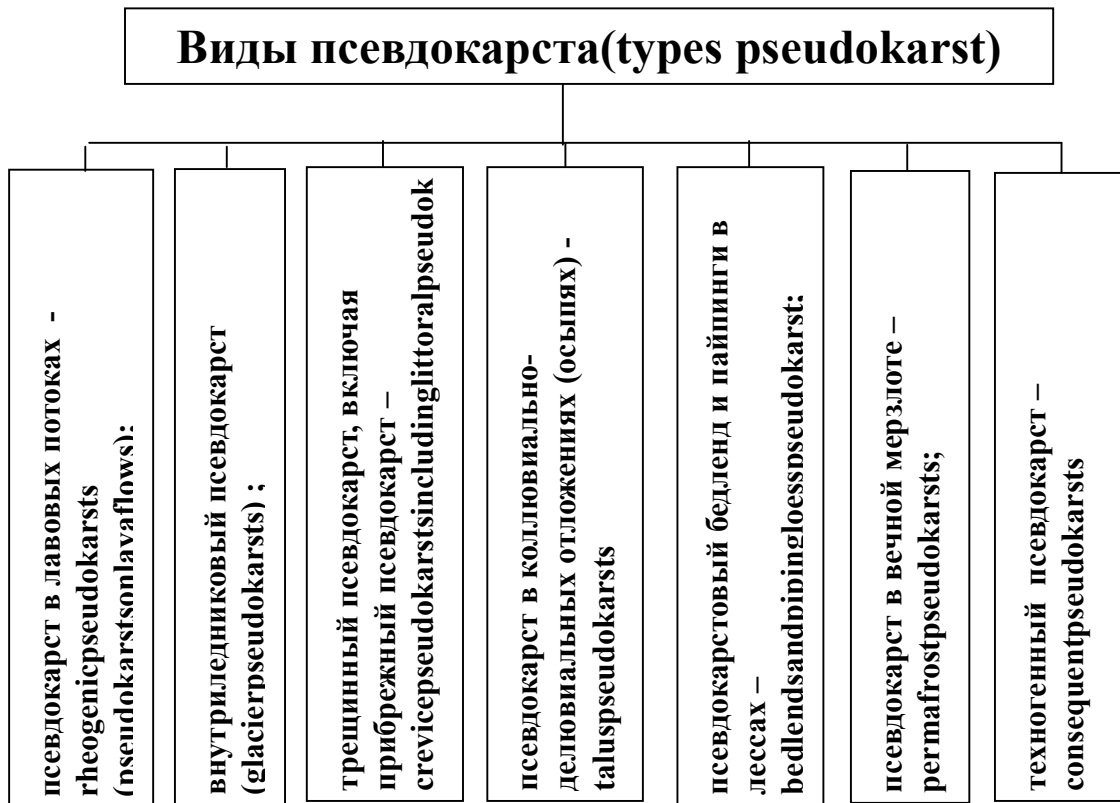
Первые сведения о феномене лёссового псевдокарста мы находим в монументальном труде Ф.Рихтгофена «Китай», где впервые описаны разнообразные формы разрушения лёссовых массивов. Ф.Рихтгофен впервые высказал предположение о росте оврагов не по классической схеме снизу вверх, а сверху вниз, к базису эрозии (F.Richtshofen, 1877). Вальтер фон Кнебель, немецкий геолог, использовал термин «псевдокарст» еще в 1906г. в работе "Höhlenkunde mit Berücksichtigung der Karstphänomene" (Knebel, 1908). Формы разрушения лессов Китая описаны М.И.Фуллером(1922).

В отличие от XIX века, в конце XX и начале XXI веке лёссовый псевдокарст стал представлять серьезную проблему хозяйственного освоения территорий, игнорирование которой приводит к значительным материальному, социальному и экологическому ущербам.

В 1975г. в труде Н.И. Кригера «Лёссовый псевдокарст», была вновь поднята проблема лёссового псевдокарста, а также приведён анализ отечественной и зарубежной литературы, посвящённой этим вопросам. В нормативной литературе термин «лёссовый псевдокарст» впервые встречается в п. 1.8 ВСН 33-2.2.06-86, и в п. 6.10 СНиП 11-02-96.

В 1997 году на 12-ом Международном Конгрессе по Спелеологии в Ла-Шо-де-Фоне (Швейцария) был организован псевдокарстовый комитет

(Eszterhás –Sarközi, 1996). С этого момента стали проходить регулярные международные псевдокарстовые конгрессы: Бразилия 2001, Греция 2005, Италия 2008, Италия 2012 . В 1997г на 12-ом Международном конгрессе ВМС (IUS) по итогам, главным образом, на итоги рабочей сессии, была принята следующая классификация псевдокарста (Holliday, 1996), которую мы представим в следующем виде:



В 1992 году в г. Кунгур было проведено Всесоюзное совещание посвященное проблеме псевдокарста (Проблемы псевдокарста, Пермь, 1992). Во вступительной статье В.Н.Андрейчук излагает точку зрения большинства отечественных ученых о том, что постановка проблемы псевдокарста выдержала испытание временем, благодаря чему были подтверждены обоснованность и правильность вывода Молотовской (Пермской) конференции 1947г., о внешнем сходстве псевдокарста с типичным карстом, но их различных природе и генезисе.

По данным Малин и Эджетт (2000) стало известно даже о некоторых формах рельефа на планете Марс, которые могут быть аналогичны земному псевдокарсту.

Как видно из всего вышесказанного сегодня, как в нашей стране, так и за рубежом понятие «псевдокарста» приобрело право научного термина (Дублянский, Дублянская, 1992).

В.П.Хоменко (2003) считает, что употребление термина псевдокарст приемлемо не к процессам, а к явлениям, морфологически сходным с карстовыми, происхождение которых различно, но не связано с растворением карстующихся пород. Суффозия, несомненно, входит в число геологических процессов, формирующих псевдокарстовые явления, но многообразие суффозионных форм псевдокарстом не ограничивается. Формирование

псевдокарстовых форм рельефа в лёссовых породах, резко выделяет его из всего многообразия псевдокарстовых явлений, происходящих на современном этапе техногенного развития рельефа Земли, своей быстротечностью и стремительностью.

Ввиду большого количества предложенных терминов для обозначения изучаемого нами процесса, мы выбрали наиболее целесообразный - «лёссовый псевдокарст». Этот термин подчеркивает связь целого комплекса процессов с лёссами (породой, имеющей очень широкое распространение). Термин уже вошел в научную и нормативную литературу.

Под лёссовым псевдокарстом мы понимаем процесс гидромеханического, гравитационного, биологического и физико-химического зонального разрушения недоуплотненных лёссовых пород при их избыточном (как правило, техногенном) увлажнении, приводящий к образованию форм рельефа сильно напоминающих типичные карстовые (пещеры, провалы, воронки, колодцы, овраги, цирки и др.). Подобный процесс характерен лишь для лёссовых пород, т.е. для пород с особым составом и свойствами, распространённых в ландшафтах определённого типа.

Лёссовые породы, это дисперсные грунты, физико-механические свойства которых являются функцией генезиса и современных условий их существования. Свойствами грунтов определяется стоимость, инвестиционная привлекательность, сроки и целесообразность современного строительства. Так, при строительстве на просадочных грунтах стоимость повышается до 10% по сравнению с непросадочными, а строительство на площадях, поражённых псевдокарстом, увеличит эту цифру в несколько раз. Более того, для надёжного проектирования, строительства и эксплуатации сооружения, помимо существующих свойств грунтов, необходимо предвидеть и учитывать их изменения в процессе хозяйственной деятельности человека.

Анализ минерального состава лёссовых пород показал, что основная масса присутствующих в них минералов представлена труднорастворимыми соединениями - кварцем и полевыми шпатами. Такие относительно «легко» растворимые соединения, как кальцит, доломит и гипс составляют не более 25%. Количество CaCO_3 в поражённых псевдокарстом породах обычно не превышает 15–16%. Количество водно-растворимых соединений (по данным водных вытяжек) в лёссовых породах обычно небольшое и не превышает 1,5 % от веса породы.

Лёсс характеризуется высоким содержанием крупнопылевой фракции (0,05–0,01 мм) до 65%, что показывает: эта порода формировалась и существует до настоящего времени в условиях сухого климата, где преобладает физическое выветривание, и разрушение пород идет лишь до размеров мелкой пыли.

Для формирования лёссового псевдокарста оптимальные условия имеются в относительно рыхлых и слабо упроченных разностях лёсса с низкой (менее 12%) весовой влажностью. Для поражённых псевдокарстом

пород характерно значение модуля деформации, как правило, не превышающее $E=20-30$ МПа. Относительная просадочность изменяется от 0,001 до 0,152. Скорость размокания основной массы (70%) исследованных образцов лёссовых пород, отобранных с участков, пораженных псевдокарстом, характеризуется как очень быстрая (90% исследуемых образцов размокали в интервале от 1 до 30 минут). Коэффициент фильтрации лёссовых грунтов в верхней 5 метровой части толщи достигает иногда 1,2 м/сут, при среднем значении около 0,6 м/сут.

Формированию псевдокарста способствует высокая пористость породы, достигающая значений 50% и даже 57%. При увеличении влажности пористость и деформационные характеристики породы резко падают. Отмечено, что при количестве CaCO_3 более 20%, а влажности более 15%, лёссовый псевдокарст формируется неактивно.

Медленное, площадное повышение влажности лёссовых пород при их высокой пористости, вызывает просадку и исключает развитие псевдокарста. Замачивание основания будущего сооружения до начала строительства продолжается десятки суток, с постоянным контролем качества замачивания и изменения плотности грунта. Если же замачиваемый котлован имеет трещины, ходы землероев и корней ксерофитной растительности или другие полости, в которые возможно проникновение воды, начинается развитие лёссового псевдокарста. Для этого необходима циркуляция водного потока по трещинам, ходам землероев и вдоль корней растительности, имеющей мощные основные корни, проникающие в глубину лёссового массива на десятки метров.

Влияние гидродинамического давления воды на переориентировку минеральных частиц возникает только при больших градиентах и длительных сроках фильтрации (десятки суток) небольшого количества воды. Вертикальное турбулентное движение потока воды способствует отрыву частиц лёссовой породы и выносу их в нижние горизонты лёссов, вызывая формирование подземных псевдокарстовых полостей, а на поверхности массива осадку и уплотнение. Вынос частиц лёссовой породы происходит до тех участков, где преобладает слабонаклонное ламинарное движение воды, к месту разгрузки, которым, как правило, является тальвег более крупного водотока. При переходе движения потока воды в слабонаклонное, энергия резко уменьшается и, в месте разгрузки частицы грунта укладываются с более высокой плотностью в виде небольшого конуса выноса.

Как правило, объём вынесенного материала несравнимо меньше объёма образующихся в результате псевдокарстования пустот. В отличие от просадки, первоначальная площадь развития лёссового псевдокарста небольшая, так как вода циркулирует по вертикальным ходам небольшого диаметра и не смачивает массив целиком.

Классификация разнообразных подземных и поверхностных форм лёссового псевдокарста впервые приведена Н.И.Кригером (1975). С дополнениями, основанными на многолетнем опыте изучения автором

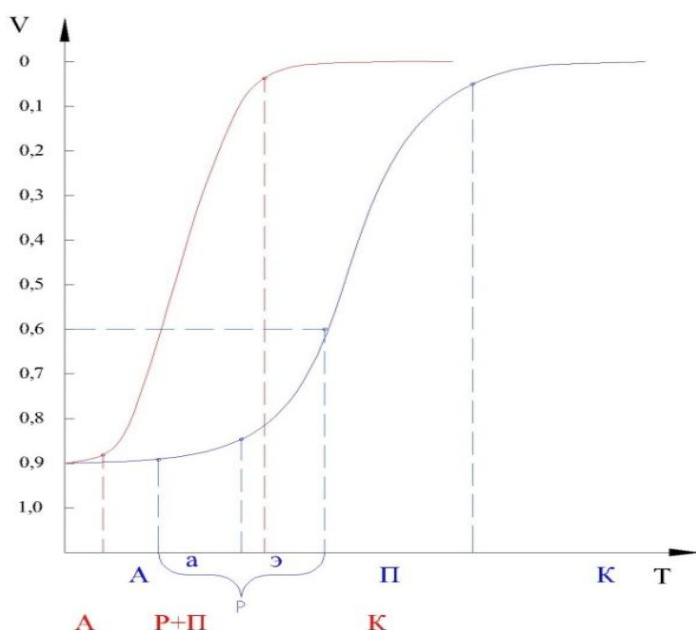
псевдокарста в Таджикистане, Узбекистане, Китае, Европе и России, данная классификация может быть представлена в следующем виде (рисунок 1).



Рисунок 1 – Классификация псевдокарстовых форм рельефа.

Динамика формирования лёссового псевдокарста. Рассматривая лёссовый псевдокарст как результат силового воздействия движущихся сначала поверхностных, а затем подземных вод на дисперсные породы, можно отметить следующие необходимые условия (Ломтадзе, 1977, Тер-Мартirosян, 2011):

- 1 – структурно-текстурную неоднородность горных пород (для лёссов наличие трещин, ходов землероев, корнеходы и др.);
- 2 – достаточную гидродинамическую силу водного потока;
- 3 – наличие области выноса разрушенных и перемещаемых пород.



3 – наличие области выноса разрушенных и перемещаемых пород.

Стадии деградации лёссового массива можно представить в виде сигмоиды (рисунок - 2), которая представляет собой гладкую монотонную нелинейную S-образную функцию, описанную как экспоненциальная сигмоида функции Ферми в виде:

$$V = F(T) = \frac{K_1}{K_2 + e^{-2aT}} F(o) = \frac{K_1}{K_2 + 1} = V_{\text{ннн}}, \text{ где } K_1 \text{ и } K_2 \text{ - поправочные коэффициенты,}$$

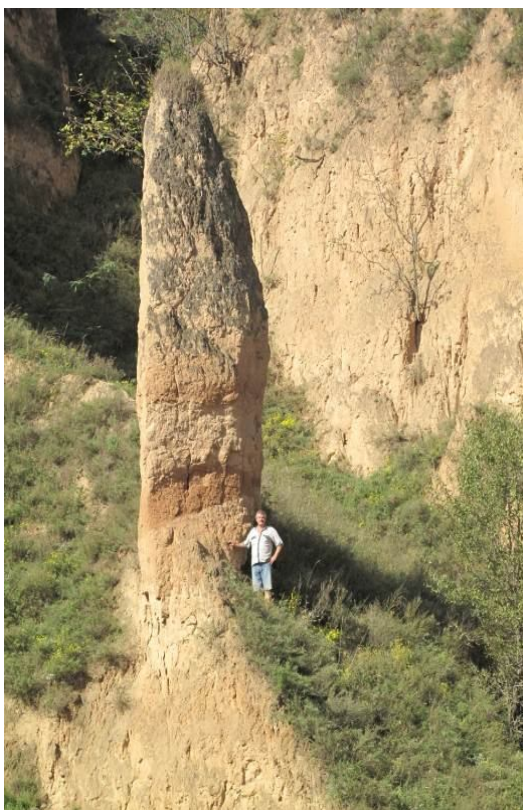
позволяющие получить начальные и конечные (граничные) значения V.

$$V = \frac{K}{K + e^{-2aT}},$$

Рисунок 2 – График отображающий динамику разрушения некоторого объёма V - лёссового массива в природных условиях (синий цвет) и при техногенном влиянии (красный цвет) за время T, где A– активная, P – реактивная (латентная(а) и экспрессивная(э) подстадии), П – полная и К – конечная стадии процесса.

Таблица 1 – Стадии псевдокарстового разрушения лёссового массива.

СТАДИИ ПСЕВДОКАРСТОВОГО РАЗРУШЕНИЯ ЛЁССОВОГО МАССИВА				
Активная стадия	Реактивная стадия		Полная стадия	Конечная стадия
	Латентная подстадия	Экспрессивная подстадия		
Инфильтрация и турбулентное проникновение поверхностных вод в лёссовый массив. Формирование подземного эрозионного хода	Скрытое протекание процесса подземной эрозии. Расширение подземного хода	Проявление псевдокарстовых форм на поверхности лёссового массива в виде воронок, провалов, колодцев	Проявление на поверхности массива больших и большей части малых форм псевдокарста	Деградация лёссового массива. Значительные снижения гипсометрических отметок. Остаточные формы псевдокарста



Увеличение углов наклона приведённых кривых, характеризует значительное увеличение скорости процесса и, соответственно, сокращение времени от активной до конечной стадий формирования псевдокарста (таблица 1).

Рисунок 3 - Уникальный останец высотой 15м и диаметром 2,5м. Провинция Ганьсу. Китай. Фото А.А.Лаврусевича, 2010г.

Формирование лёссового псевдокарста в своей активной стадии представляет собой массоперенос разрушенных лёссовых пород,

формирующий зоны разуплотнения в массиве. В реактивной стадии дополнительно проявляются процессы оседания поверхности, локальное уплотнение пород, провалообразование, формирование оползней, донная и боковая эрозия и др.

В полной стадии происходит выход практически всех подземных псевдокарстовых форм на поверхность. Массив осложнён многочисленными большими и малыми формами псевдокарста, разбит сформированными псевдокарстовыми оврагами.

В конечной стадии значительно изменяется рельеф, гипсометрические отметки существенно изменяются, из псевдокарстовых форм рельефа преобладают остаточные (стены, останцы, мосты и др.)(рисунок - 3).

Положение 2. Кроме интенсивности обводнения лёссовых пород условия формирования лёссового псевдокарста и его динамика определяются особенностями: рельефа земной поверхности; климата; строения толщи лёссовых пород; жизнедеятельности организмов; техногенных воздействий на геологическую среду. В соответствии с этим выделены характерные типы лёссового псевдокарста, формирующиеся согласно определенным концептуальным моделям: придолинный, придолинно-балочный, балочный, приуроченный к откосам, а также типы, связанные с подземной экскавацией лёссов, с оползнеобразованием и с просадочностью.

На формирование лёссового псевдокарста оказывают влияние широкий комплекс природных и техногенных факторов. Рельеф – (наличие лёссовых пород поднятых на достаточную высоту над местным базисом эрозии) и неравномерное выпадение атмосферных осадков - климатический фактор.

Климат – способность лёссовых пород к псевдокарстованию сохраняется только там, где радиационный индекс сухости R/I_r больше 1, где R -радиационный годовой баланс $\text{ккал}/\text{см}^2$, I_r - скрытая теплота испарения $\text{ккал}/\text{г}$, r - годовая сумма осадков $\text{г}/\text{см}^2$, что позволяет рассматривать лёсс и его особые свойства (способность к псевдокарстованию) как явление закономерное в планетарном масштабе. Неустойчивые свойства лёссовых пород закономерно распространяются как в широтном, так и в вертикальном направлениях (высотная и широтная зональность). При поднятии в горы в условиях Средней Азии по мере гумидизации климата, влажность лёссовых пород увеличивается, а пористость и просадочность снижаются (Кригер,1986). Аналогичная закономерность выявлена нами при анализе количества псевдокарстовых образований на южном склоне Гиссарского хребта (рисунок 4).

Биологические факторы – большое значение для формирования лёссового псевдокарста имеет жизнедеятельность животных, а также высших и низших растений. Это влияние может сказываться как в направлении интенсификации процесса разрушения лёссового массива, так и в направлении его сдерживания. Например, корни *Robinia pseudoacacia L.*

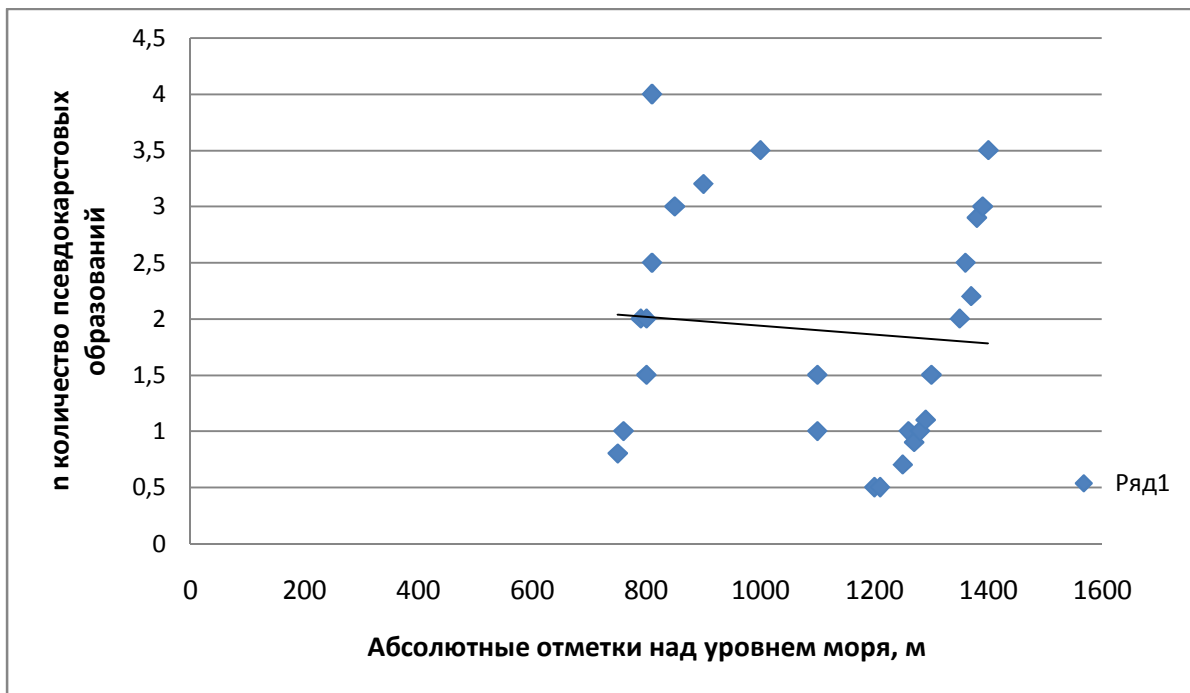


Рисунок 4 - График зависимости количества псевдокарстовых образований от абсолютной высоты местности над уровнем моря (Гиссарский хребет, Таджикистан).

принадлежащей семейству бобовых, род Робиния, проникают в лессовый массив на глубину до 25– 30м, «армируя» лессовые склоны. Однако, если растение по тем или иным причинам погибло, то оставшийся после разложения корня вертикальный ход будет являться идеальным водоводом до глубины 30м, что будет способствовать формированию псевдокарста. Сильно изменяет инженерно-геологические свойства лёссовых грунтов развитие почвенной фауны(черви, мокрицы, муравьи, термиты и др.). Важнейшее значение в развитии псевдокарста принадлежит деятельности землероющих животных, чрезвычайно распространённых в пределах развития лёссовых пород. Иногда на некоторых участках образуется скопление до 24 кротовин на 1м^2 , что способствует быстрому перемещению воды из верхних слоёв в нижние (Ларионов и др.,1959).

Почвенные микроорганизмы в результате своей жизнедеятельности образуют плотную известковистую защитную корочку на поверхности псевдокарстовых образований, что препятствует растеканию воды в подземных формах псевдокарста, и вода движется концентрированным потоком, обладая большой кинетической энергией. Основными группами микроорганизмов являются: а)бактерии; б)грибы; в)актиномицеты; г)водоросли.

Лёссовый псевдокарст нередко встречается в парагенезисе с другими геологическими процессами, провоцируя их проявление или выступая в роли сопутствующего процесса. При поражении лессового массива псевдокарстом нарушается его целостность, увеличивается влажность, происходит разуплотнение лёссовых пород. Все это играет существенную роль при

воздействии на лёссовый массив других процессов (Рисунок 5, Таблица 2) (Лаврусевич, 2013).

Автором отмечены многочисленные факты, когда различные геологические процессы провоцировали развитие псевдокарста и наоборот, когда псевдокарст первоначально развитый в лёссовом массиве, способствовал развитию того или иного геологического процесса, что приводило к их активизации.

Так, рассматривая прибрежную зону Нурекского водохранилища как объект, пораженный лёссовым псевдокарстом, было отмечено, что лёссовый псевдокарст способствует активизации переработки его берегов. Скорость отступления береговой линии в местах, поражённых лёссовым псевдокарстом, увеличилась в 3 раза, лёссовый псевдокарст спровоцировал возникновение суффозионного оползня, а двусторонняя абразия нарушенного псевдокарстом полуострова привела к формированию очень своеобразных остаточных форм псевдокарстового рельефа (останцовой гряды, аналога остаточной формы рельефа – стены, разделяющей два псевдокарстовых оврага). Нередко, в результате дальнейшего разрушения стены образуются останцы, один из крупнейших, встреченных автором, показан на рисунке 3.

Показательным является оползень, образовавшийся 23 января 1989 г на территории Гиссарского района Таджикистана, когда в результате сейсмических толчков произошло смещение оползневых масс общим объёмом более 50 млн.м³, которые практически полностью завалили кишлаки Шарора и Окули-Пойон (были многочисленные человеческие жертвы). В местах смещения пород в виде жидкой грязевой массы язык оползня растянулся более чем на 2,5 км. Проведённый анализ показал, что данная площадь была поражена лёссовым псевдокарстом (при обследовании района на десятках гектаров были встречены проявления лёссового псевдокарста: воронки, колодцы, провалы, ниши и др.). Массив местами разбит достаточно густой сетью псевдокарстовых ходов (иногда до глубины 15-20м).

Ежегодное обводнение склонов (водоводные арыки проложены в верхней и нижней частях склона), строительство серии водоподъемных насосных станций и неконтролируемые утечки привели к тому, что грунты оказались достаточно водонасыщенными (влажность - W - более 18-22%) и, в момент сейсмических колебаний (7 баллов по шкале MSK-64) высокой частоты, грунт перешёл в разжиженное состояние и в виде грязевого потока «вылился» на ниже расположенные кишлаки.

Формирование лёссового псевдокарста при строительстве монастыря привело к смещению блока лёсса объёмом более 300 тыс.м³ в южной части г. Янь Ань (провинция Ганьсу, Китай). Несанкционированный сброс воды в прибрежной части уступа сложенного лёссовыми породами, привел к развитию псевдокарста и спровоцировал возникновение оползня в северо-восточной части г.Кизляр (Дагестан) в 2011г.

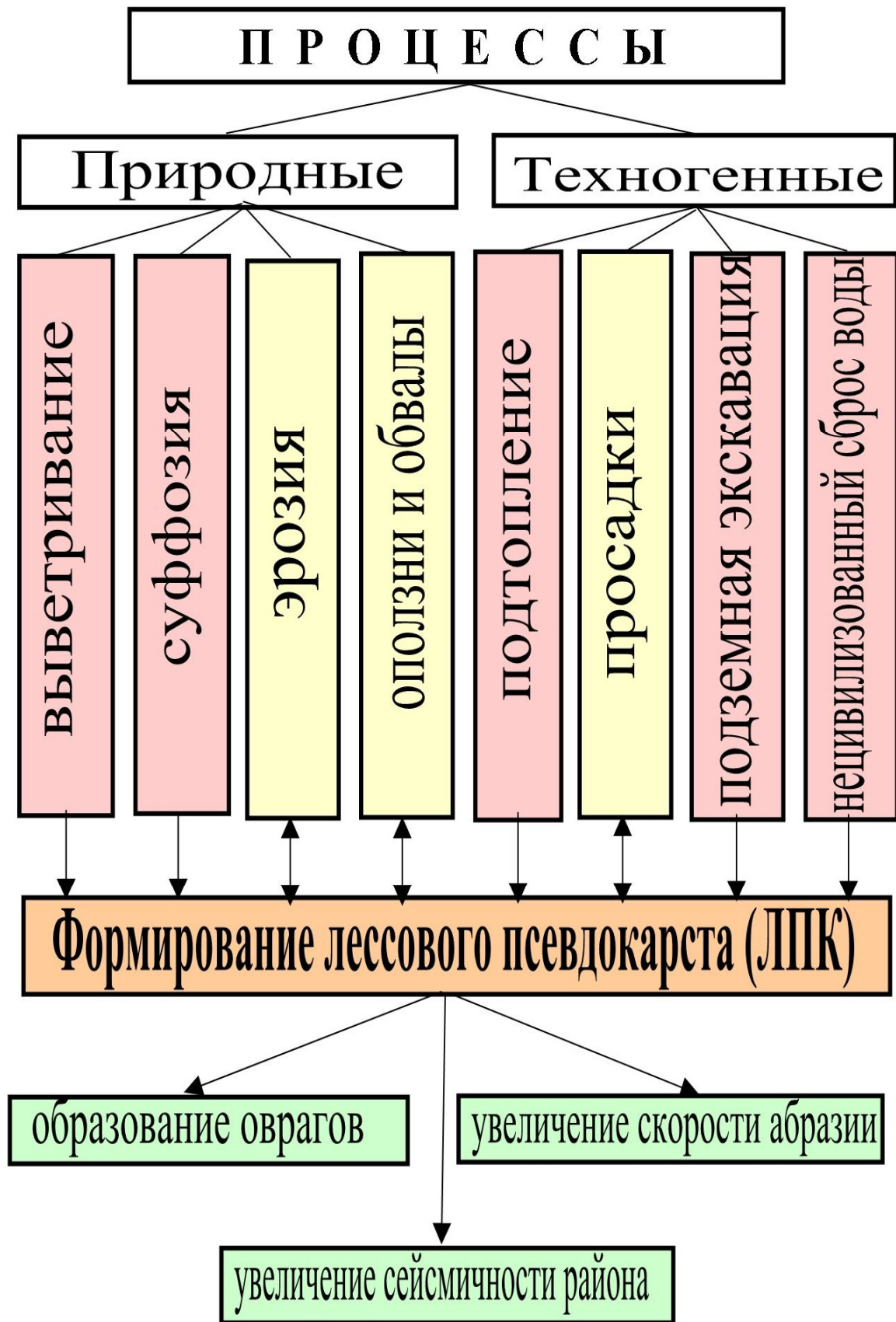


Рисунок 5- Диаграмма взаимодействия природных и техногенных процессов с лёссовым псевдокарстом.

Таблица 2 - Взаимодействие природных и техногенных процессов с лёссовым псевдокарстом.

N п / п	Характер взаимодействия природных и техногенных процессов с лёссовым псевдокарстом	Цвет на диаграмме	Описание природных и техногенных процессов
1	Процессы, играющие исключительно иницирующую роль в формировании лёссового псевдокарста		Факторы выветривания лёссовых массивов, в частности биологические, способствующие формированию подземных ходов по которым возможно первоначальное проникновение воды в лёссовый массив и начало суффозии как процесса, формирующего начальные формы псевдокарстового разрушения лёссового массива, а также образование псевдокарстовых провалов в результате подтопления. Развитие псевдокарста в местах активной подземной экскавации лёссов. Формирование псевдокарстового бедленда на участках нецивилизованного сброса излишков воды.
2	Процессы, играющие иницирующую роль в формировании лёссового псевдокарста и индуцированные его формированием.		Образование первичных псевдокарстовых подземных ходов способствует усилению эрозии (увеличению пропускной способности ходов). Процесс становится мультипликативным. Образование оползней и обвалов в лёссах способствует формированию глубоких трещин в верхней части склона. В результате неравномерных просадок при замачивании образуются глубокие трещины, формирующие псевдокарстовые формы рельефа.
3	Процессы, индуцированные формированием лёссового псевдокарста и усиливающиеся в результате его развития.		Формирование псевдокарстовых оврагов, развитие которых происходит сверху вниз, к базису эрозии. Возросшая в несколько раз скорость переработки лёссовых берегов водохранилищ поражённых псевдокарстом. При нарушении целостности массива псевдокарстом, увеличивается сейсмичность лёссовой территории, что может вызвать при землетрясении проявление просадок, оползней и обвалов.

По условиям образования и воздействия природных и техногенных факторов можно выделить следующие типы лёссового псевдокарста: А – обусловленные особенностями рельефа земной поверхности: А1. придолинный; А2. придолинно-балочный или промежуточный; А3. балочный или саевый; А4. приуроченный к откосам; и В – обусловленные особенностями структуры лёссового массива связанные: В1. - с подземной экскавацией лёссов; В2. - с оползнеобразованием; В3. - с просадочностью. Сказанное можно представить в виде дендрограммы типов лёссового псевдокарста выделенных по условиям развития (рисунок 6).

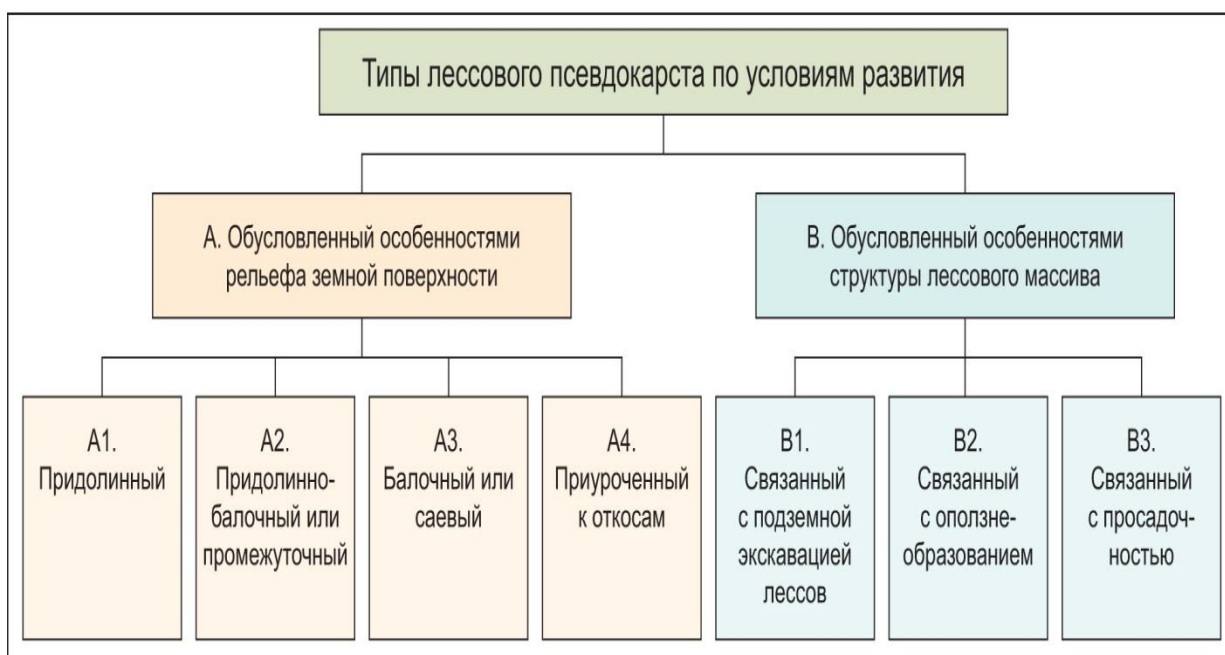


Рисунок 6– Классификация типов лёссового псевдокарста в зависимости от условий его развития.

Исследование псевдокарста с использованием космических и аэрофотосъёмок выявило интересные особенности. Как правило, вершины псевдокарстовых оврагов в лёссах, в плане имеют форму подков или цирков. Таким образом, на космических снимках при увеличении масштаба достаточно хорошо различаются псевдокарстовые и типично эрозионные формы рельефа. В плане эти формы рельефа достаточно хорошо выделяются своей «ажурностью», объединяясь в кружевные зигзагообразные образования. На аналогичные формы рельефа указывает И.П.Матвеев(1969). Особое место в формировании лёссового псевдокарста и эволюции вертикальных лёссовых откосов принадлежит подсклоновой нише, формирующейся в основании лёссовых откосов (Лаврусевич, 1987).

Положение 3. Интенсивность формирования лёссового псевдокарста резко возрастает в условиях активного техногенеза. В нетронутых техногенезом лёссовых массивах, когда породы находятся в

состоянии метастабильного равновесия, лёссовый псевдокарст не является характерным или развивается крайне медленно. В роли решающих факторов техногенеза выступают строительство, нарушение сплошности почвенного покрова в результате распахивания, утечки промышленных и бытовых вод, которые способствуют инфильтрации воды в лёссовый массив и т.д.

Для обозначения земной геосферы, в которой происходят процессы, связанные с деятельностью человека, исследователи используют термины ноосфера, техносфера и другие. Ноосферой обозначают по Э.Леруа(1930), Тейяру де Шардену(1965) и В.И.Вернадскому(1977) сферу разумной деятельности человека, или, по Ю.П.Трусову (1968), особым образом организованную сферу взаимодействия природы и общества, в которой природные процессы направляются сознательно и целесообразно. В.И.Вернадский считал, что человечество неизбежно придет к созданию ноосферы.

Ф.Я.Шипунов(1980)считает, что в современный исторический момент техногенез развивается преимущественно за счёт дезорганизации биосферы. Перед человечеством стоит глобальная задача резко изменить ход процессов в Мегасистеме: Человек–Общество–Техника– Среда. К сожалению, несмотря на то, что человечество перевалило рубеж XXI века, переход в ноосферу до сих пор представляется достаточно эфемерным.

Техногенезом называется деятельность человека, человеческого общества, вооруженного техникой и преобразующего окружающую среду. Понятие о техногенезе было введено А.Е.Ферсманом(1934) и первоначально относилось только к изменению среды геохимическими процессами в результате деятельности промышленности. В работах последующих исследователей термин “техногенез” понимается более широко, включая разнообразные виды воздействия общества и техники на природную среду (М.А.Глазовская, А.А.Григорьев, В.К.Епишин, Л.Г.Кофф, И.В.Лазарева, К.И.Лукашев, З.А.Сваричевская, С.А.Таранов, Е.В.Шанцер, П.Ф.Швецов и другие).

А.Е.Ферсман предложил термин “техносфера” для обозначения пространства, в котором развиваются техногенные процессы (вспомним о засорении околоземного пространства космическим мусором). В.И.Вернадский, вслед за П.Тейяром де Шарденом, называет это пространство ноосферой. В.И.Вернадский представлял себе рождение ноосферы, т.е. переход биосферы в ноосферу, как ускоряющийся геологический процесс.

В настоящее время множество наук пронизывается учением о техногенезе. По нашему мнению, должен существовать целый комплекс научных дисциплин, изучающих данный вопрос, объединённых в единое эмпирическое учение о мегасистеме и техногенезе. Несомненно, что геоэкология, как комплексная наука, объединяющая знания об экологических проблемах геосфер и нацеленная на обеспечение выживания человечества, в

синтезе с другими науками, наилучшим образом должна выполнить эту задачу. Классическая экология, пока занимающаяся изучением взаимосвязи живых организмов и окружающей среды, нуждается в расширении и охвате неживых объектов. Экологическими функциями литосферы, закономерностями их формирования, её пространственно-временными изменениями под влиянием техногенеза в последние десятилетия занимается новое направление геологических наук – экологическая геология (Трофимов, 2009).

Специалисты, практически занимающиеся инженерными изысканиями для строительства, за последние годы всё больше внимания уделяют исследованию и учету физико-географической обстановки района возведения сооружения. В связи с этим возрастает внимание к теоретическим вопросам техногенеза.

Главнейшими факторами техногенеза являются: человек, человеческое общество, техника и “окружающая среда”.

В настоящее время техногенез – процесс, в глобальном аспекте, практически неуправляемый, он протекает на разных иерархических уровнях, среди которых можно условно выделить локальный, региональный и глобальный уровни. Изученность взаимосвязи техногенных процессов на разных иерархических уровнях до сих пор остается слабой. При изучении геологического аспекта техногенеза в ряде случаев могут быть приняты следующие главнейшие причины современных форм техногенеза:

- а) ускоряющийся рост численности человеческого населения на планете (в 2011г человечество перевалило семимиллиардный рубеж);
- б) геологически длительный процесс эволюции организмов и цефализации, т.е. эволюционного усложнения центральной нервной системы позвоночных, что привело (около 40 тыс. лет назад) к формированию *Homo sapiens*;
- в) формирование и развитие современного (потребительского) общества, смена общественных формаций, труд человека, рост потребления и эксплуатация природных ресурсов;
- г) развитие техники и сильно выросшие технические возможности общества.

В результате этих процессов за последние десятилетия не сформировалось соответствия между ограниченными эксплуатируемыми природными ресурсами, возрастающими потребностями общества и растущей мощностью техники.

Стихийная саморазвивающаяся мегасистема, образованная человеком, обществом, техникой и окружающей средой приводит к кардинальным сдвигам в планетарно-стабильном состоянии Земли. Сложность этой Мегасистемы создаёт огромные трудности прогноза её развития. Однако, при научно аргументированном рассмотрении прошлого и настоящего биосферы, появляется возможность представить и дать ему предварительную оценку сценария будущего. Даже если система находится в крайне критическом состоянии, но её энергетический запас еще не до конца использован, она имеет высокую вероятность преодоления этого кризиса и возврата к функционированию в нормальном режиме (Величко, 1993).

Техногенез как основной фактор формирования лёссового псевдокарста. Лёсс, обладая комплексом специфических свойств, может сохранить их лишь в определенной природной обстановке, где рельеф, температура, количество атмосферных осадков, интенсивность их выпадения остаются в течение тысяч лет относительно постоянными, изменяются в определённых диапазонах, не превышая той критической отметки, за пределами которой равновесие нарушается (пример - дефиле дорог в лёссовых массивах Китая высотой более 30 м., описанные ещё Ф.Рихтгофеном в XIX веке). Безусловно, нарушение сложившегося природного равновесия в связи с действием рассмотренных факторов происходит и в естественных условиях, что вызывает проявление целой серии сложных геологических процессов. Однако, в природе это происходит сравнительно редко и длится недолго. Поэтому в естественных условиях лёссовые массивы редко поражены псевдокарстом, скорость его развития небольшая и он редко достигает больших размеров.

Во много раз активнее протекает процесс образования лёссового псевдокарста под влиянием техногенной деятельности человека. После обследования нескольких тысяч проявлений лёссового псевдокарста в России, Европе, Средней Азии и Китае автор пришел к выводу, что основным провоцирующим фактором развития лёссового псевдокарста является техногенез. Строительство сопровождается экскавацией лёссовых грунтов, нарушением верхней задернованной части, нарушением влажностного режима лёссовых массивов, повышением уровня грунтовых вод. Создание каскада водохранилищ и строительство тоннелей позволили подавать воду на площади, сложенные лёссами, никогда ранее не получавшие искусственное орошение. Освоение новых земель сопровождается прокладкой густой сети автомобильных дорог, оросительных систем, строительством жилых поселков, промышленных сооружений. Однако, до настоящего времени эксплуатация сооружений и орошаемых земель идёт без учёта интенсивности развития лёссового псевдокарста и последующего риска.

При поступлении большого количества воды процесс развивается весьма стремительно (в Таджикистане отмечен случай, когда в результате утечки воды из бетонных водоводных лотков, в течение 2 суток образовался псевдокарстовый овраг видимой глубиной 5 метров, шириной более 8 метров и протяженностью более 30 метров) (рисунок 7). С псевдокарстом связано разрушение ирригационных каналов и расположенных вблизи них объектов различного назначения (зданий и сооружений, мостов, дорог и т.д.) (М.П.Леонов, И.В.Родевич (1980), М.М.Маматкулов (1985), и др.), В.А.Васильев (1968), Л.В.Передельский (1968), В.Т.Трофимов (1964), Запорожченко (1969), В.П.Ананьев, В.А.Васильев (1969), Б.Ф.Галай и др., 2003, 2006 и др.).

В Западной ветви Надтеречного канала (Восточное Предкавказье) за несколько суток провальные формы в виде воронок и провалов диаметром до 1,5 м ушли по нормали к оси канала на 900 метров от его бровки (Глухов, 1959). Непонимание этого процесса привело к ошибочным

решениям при подготовке оснований для взрывоопасных объектов, очистных сооружений и жилья для крупнейшего в мире Прикумского завода пластмасс в г. Буденновске. Здесь, при предстроительном замачивании котлованов с дренажными скважинами, повсеместно образовались провалы и воронки в просадочных грунтах мощностью до 50 м. Это привело к большому (в 3-4 раза) перерасходу воды, дефицитной в степных районах, и задержке строительства государственных объектов.

Лёссовый псевдокарст привел к аварийным ситуациям при эксплуатации объектов крупнейшего в России Большого Ставропольского канала (БСК), получил развитие на обрывистых берегах р. Терек на территории Чечено-Ингушетии. Этот скрытый процесс особенно опасен при устранении просадочности мощных лёссовых толщ предварительным замачиванием котлованов. Поэтому строители часто отказываются от «нормативных» методов устранения просадочности замачиванием лёссовых грунтов (Лаврусевич, Хоменко, 2012).

Например, в Таджикистане, при обследовании 324 гидротехнических сооружений, введённых в эксплуатацию, 30 (9,3%) были полностью разрушены в течение первых 2-3 лет эксплуатации, 56 (17,3%) находились в аварийном состоянии и требовали капитального ремонта, 87 (26,8%) нуждались в текущем ремонте и лишь 151 (46,6%) находились в нормальном рабочем состоянии.

Приведем пример экономического ущерба, вызванного развитием псевдокарста в Таджикистане (Яванская долина). Ежегодно с одного гектара поливных земель Яванской долины собирали и собирают в среднем по 20 центнеров хлопка-сырца. Стоимость 1 центнера в ценах 2012 г составляет 225 \$ США. Стоимость хлопка с 1га составляет: $20\text{ц} \times 225 \$ = 4500 \$$.

Орошение земель Яванской долины началось при отсутствии коллекторно-дренажной сети, что привело к активному развитию псевдокарста и эрозии. Большинство сформированных оврагов приурочено к концевым частям оросительных сбросов и дрен. Общая площадь орошаемых земель Яванской долины составляет около 26 тыс. га. За период с 1965 по 2012 гг. (47 лет) в пределах Яванской долины выведено из севооборота около 7 тыс. га., что составляет 25% от общей площади поливных земель. Если стоимость хлопка, получаемого с 1га, умножить на 7000 га, получаем $7000 \times 4500 = 31,5 \text{ млн. \$}$.

Умножив на срок эксплуатации поливных земель долины - 47 лет, получаем сумму 1,5млрд.\$, и это при годовом ВВП республики, равном 5,6 млрд. \$. Это приблизительный расчёт, но он отражает общую тенденцию полной и безвозвратной потери ценнейших поливных земель Республики. Расчет проведён только по Яванской долине, тогда как общая площадь орошаемых земель в Республике составляет 720 тыс.га.

При искусственном орошении вода обычно подводится к полям путём строительства магистральных и распределительных каналов, а на самих полях прокладывается густая сеть поливных борозд. Полив по бороздам, т.е.

самотечным способом, наиболее благоприятным для развития лессового псевдокарста, осуществляется в Таджикистане на 517 из 720 тыс.га.

В пределах Яванской долины широкое применение получила открытая лотковая сеть подачи воды на карты орошения. Однако, малейшие утечки из железобетонных лотков, мгновенно приводят к развитию псевдокарста (рисунок 7).



Рисунок 7 - В результате утечек воды из лотковой сети сформировался псевдокарстовый овраг глубиной 5м, шириной 8м и длиной более 30 м в течение 2 суток.

Можно выделить три основные причины развития лессового псевдокарста на орошаемых площадях:

- 1) неотлаженный механизм водопотребления и превышение норм полива;
- 2) неорганизованный и нерегулируемый сброс излишков поливных вод.

Например, основной причиной развития придолинного типа псевдокарста является неправильно организованный сброс излишков воды до местного базиса эрозии. Практически повсеместно отмечается отсутствие элементарной гидротехнической культуры. Необходимо широкое применение гидротехнических методов гашения энергии потока при сбросе излишков воды с полей орошения.

Важную роль в устойчивости лёссовых массивов играет отгонное овцеводство. Проходя по территориям, занятым лёссовыми адырами, скот

поедает и вытаптывает не только наземную часть растения, но, нередко, и корневую систему, чем активно способствует появлению лёссового псевдокарста.

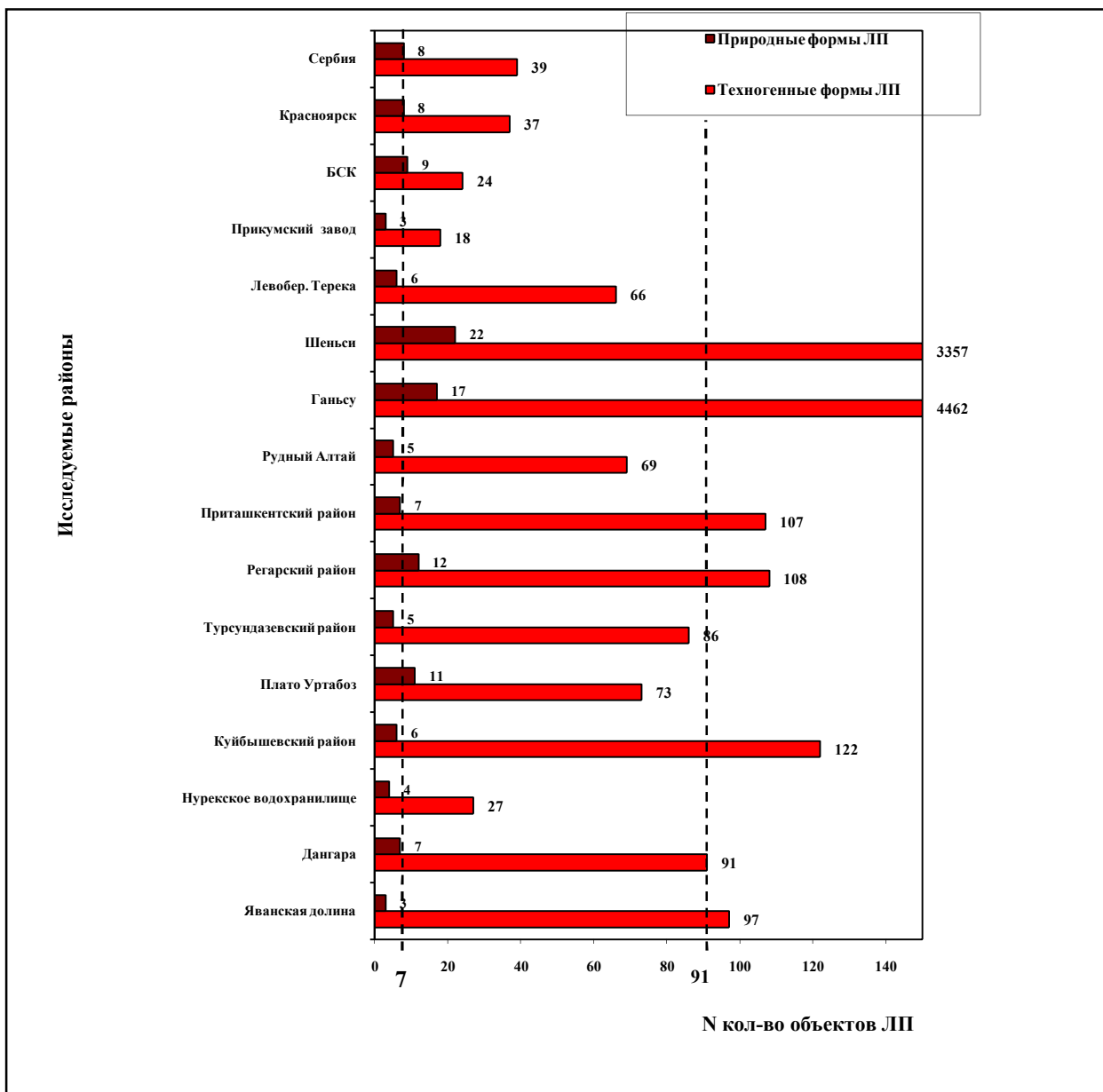


Рисунок 8 - График, характеризующий количественное соотношение природных и техногенных форм лёссового псевдокарста в различных регионах мира.

По наблюдениям автора, количество псевдокарстовых форм, возникших в результате нарушения сложившегося природного равновесия человеком, в 13 раз превышает количество псевдокарстовых форм образовавшихся в естественных условиях. Анализ псевдокарстовых форм рельефа Лёссового плато в Китае (провинции Шеньси и Ганьсу) позволяет увеличить эту цифру минимум на один порядок (рисунок 8).

Положение 4. Установлены закономерности пространственного распространения лёссового псевдокарста, обусловленные рядом природных и, в основном, техногенных факторов, развитие которых отчетливо прослеживается на схематических картах территорий Яванской долины, Юго-Западного Таджикистана и России. Разработан комплекс критериев оценки опасности лёссового псевдокарста для различных видов строительства по данным инженерно-геологических изысканий.

Лёссы плащеобразно покрывают около 10 % поверхности более древних пород материковой части Земли. Только Антарктида свободна от лёссового «одеяла». Классическим местом распространения лёссовых пород безусловно является Центральная, Средняя Азия и Китай. Картируя распространение лёссов и псевдокарста, можно получить представление о степени развитии данного явления, скорости развития, оценить ущерб и инвестиционную привлекательность той или иной территории.

С точки зрения изучения опасности лёссового псевдокарста наибольший интерес представляет Лессовое плато в Китае, где мощность отложений составляет более 500м (Ли Сы-гуан,1959). Освоение Лессового плато началось более 3000 лет назад до нашей эры. Автор приводит расчёт разрушения Лёссового плато в результате техногенеза. Говоря о сильной разрушенности Лёссового плато, необходимо отметить, что именно лёссовый псевдокарст, толчком, для развития которого явился техногенез, стал причиной первичного нарушения целостности лёссовых массивов. Эрозия же в полной мере подключилась к его разрушению несколько позже.

Освоение Лессового плато привело к практическому уничтожению его природного растительного покрова (Cook at al.,2000). Расширение обрабатываемых земель усилило псевдокарстово-эрозионное разрушение плато. В период династии Хань (221г. до н.э. – 206г. н.э.) были выжжены огромные лесные пространства в данном регионе. Основная цель этого мероприятия –контроль за передвижением монгольских кочевников, регулярно нападавших на сельскохозяйственные районы (Veesk at al.,1995). После этого началось активное псевдокарстово-эрозионное разрушение лёссовых массивов. Ежегодно река Хуанхэ выносит в пределы Великой Китайской равнины более 1км³ разрушенных лёссов. Если принять во внимание, что человек начал активное освоение Лёссового плато за 3 тыс. лет до н.э. и продолжает это делать в течение 2 тыс. лет нашей эры, то у Лёссового плато остается около 45 тыс. лет для существования. С точки зрения продолжительности человеческой жизни это огромный промежуток времени. В масштабе геологического времени это составляет всего лишь мгновение.

Таджикистан– уникальный регион, где 93% территории - горы. Поэтому освоение выровненных территорий долин привело к заметному увеличению площади орошаемых земель. В ходе освоения земель под орошение

было вырублено много лесов, что в ряде районов вызвало мощную эрозию склоновых земель и берегов рек.

Известно, что потери воды при транспортировке составляют до 20–25%, при допустимой норме 3–5%, что является прямым следствием низкой эффективности оросительных каналов и прочих водохозяйственных сооружений, коэффициент полезного действия которых находится в пределах 0,55-0,65 (Лёссовые породы...,2010). Несовершенство оросительных систем приводит к развитию ирригационной эрозии, которая провоцирует развитие псевдокарста. Яванская долина – типичный пример развития эрозии и псевдокарста в результате техногенеза. Более 7 тысяч гектаров орошаемых земель Яванской долины, а это более 27% всех орошаемых земель долины, подвержены процессам оврагообразования. Развитие псевдокарстового оврага в природных условиях продолжается на протяжении сотен лет и распространено в основном в необжитых районах. При техногенезе крупный псевдокарстовый овраг может развиваться за 2-3 года, нанося значительный ущерб всем отраслям хозяйства, связанным с землепользованием. До освоения Яванской долины и пуска вод реки Вахш для орошения в конце 60-х годов XX века было выявлено 25 оврагов общей протяженностью 15км. Через 40 лет после начала освоения зафиксировано 320 оврагов общей протяженностью уже 55км.

В результате перерасхода потребления воды, как при сельскохозяйственном использовании, так и в промышленности и сфере ЖКХ, нецивилизованного сброса излишков воды до местных базисов эрозии, несвоевременного принятия мер к устранению утечек и подачи воды, в республике ежегодно выводятся из оборота тысячи гектаров ценнейших поливных земель, разрушаются здания и сооружения.

Таблица 3– Оценка поражённости территории лёссовым псевдокарстом.

Оценка поражённости территории лёссовым псевдокарстом	
Кпп	Характеристика развития поверхностных форм лёссового псевдокарста
<0,003	участки практически свободные от проявления лёссового псевдокарста
0,003 – 0,01	участки, мало подверженные воздействию лёссового псевдокарста, провалы небольшого диаметра, цепочки воронок, колодцы
0,01 – 0,1	участки, средней подверженности воздействию лёссового псевдокарста, широко развиты малые формы (провалы, воронки, траншеи, колодцы, поноры и др.)
0,1 – 0,5	участки сильно подверженные воздействию лёссового псевдокарста, широко развиты большие псевдокарстовые формы (провальные овраги и цирки)
>0,5	участки псевдокарстового бедленда, помимо широкого развития больших и малых псевдокарстовых форм, широко развиты остаточные формы рельефа: мосты, останцы, стены, столбы и др.

Автором проведена оценка поражённости лёссовых территорий псевдокарстом. Составлены карты «Поражённости Яванской долины»(рисунок – 9) и «Юго-Западного Таджикистана» (рисунок - 10), на которых выделены 5 типов территорий по степени поражённости псевдокарстом, которые характеризуются коэффициентом площадной поражённости $K_{пп}$ (отношение площади поверхностных псевдокарстовых форм к площади массива в 1га)(таблица 3).

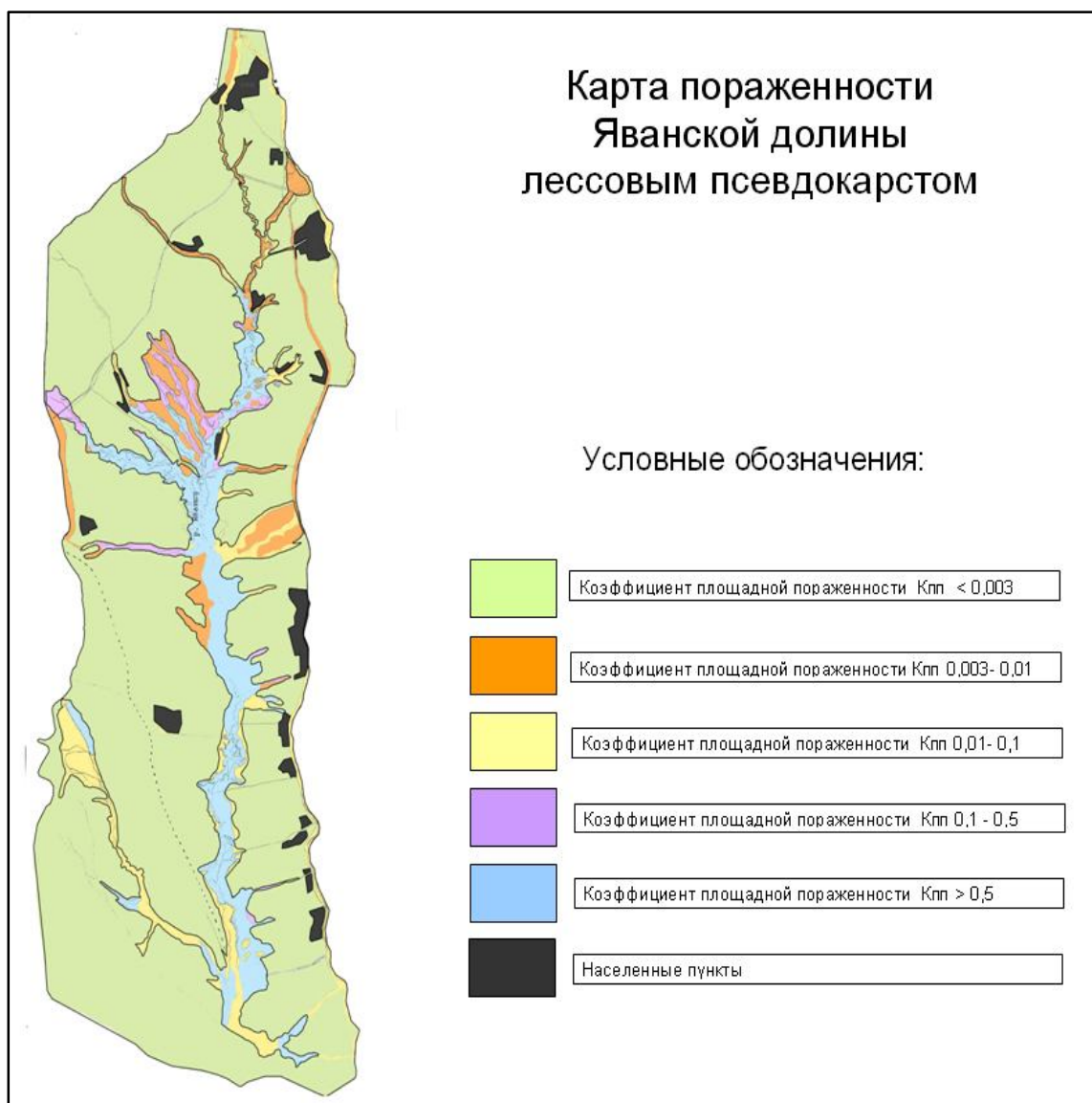


Рисунок 9 - Карта поражённости Яванской долины (Таджикистан) лёссовым псевдокарстом

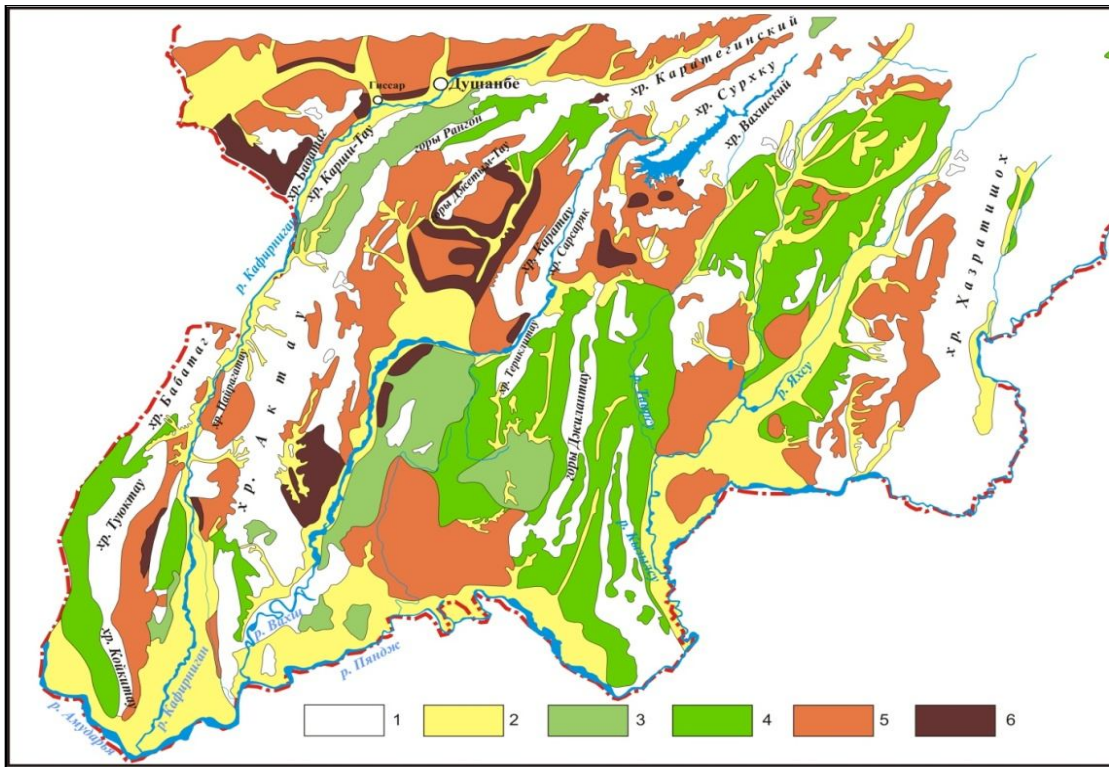


Рисунок 10 – Схематическая карта поражённости лёссовым псевдокарстом Юго-Западного Таджикистана. 1- $K_{пп}=0$ (территории свободные от псевдокарста, хребты и выходы скальных пород); 2- $K_{пп}<0,003$; 3- $K_{пп}0,003-0,01$; 4- $K_{пп}0,01-0,1$; 5- $K_{пп} 0,1-0,5$; 6- $K_{пп}>0,5$.



Условные обозначения: 1 – область распространения псевдокарста в многолетнемерзлых породах; 2 – область распространения псевдокарста в скальных породах; 3 – область распространения псевдокарста в лавовых потоках; 4 – область распространения псевдокарста в глинистых породах (глинистый псевдокарст); 5 – область весьма ограниченного распространения псевдокарста в лёссовых породах (лёссовый псевдокарст); 6 – область широкого распространения псевдокарста в лёссовых породах (лёссовый псевдокарст); 7 – II тип просадочности, реже I; 8 – II и I тип просадочности; 9 – I тип просадочности, реже II; 10 – районы интенсивного развития псевдокарста техногенного (а) и природного (б) происхождения.

Рисунок 11 – Схематическая карта распространения псевдокарста на территории России

Необходимость оценки этих площадей с инженерно-геологической точки зрения определяется тем, что при планировании использования территории под промышленное и гражданское строительство или сельскохозяйственное освоение важно учитывать степень поражённости лессовым псевдокарстом того или иного массива (рисунок – 10).

В основу «Схематической карты распространения псевдокарста на территории России» (рисунок 11) положена «Карта суффозионных процессов» В.П.Хоменко и др., (2003). Помимо этого автор использовал «Карту прогноза просадочности территории распространения лессовых пород СССР», масштаба 1:2 500 000 под редакцией Е.М.Сергеева (1986г.).

Принцип построения карты заключался в выделении территорий, где различные типы псевдокарста приурочены к определённым типам горных пород и определённым генетическим типам их псевдокарстового разрушения. Например, выделенный на полуострове Камчатка псевдокарст в вулканических метаплагиофировых лавах позволил нам указать на карте это место как область распространения псевдокарста в лавовых потоках (область 3 – обозначена на карте чёрным цветом). Крапом нанесены области распространения лёссовых пород I и II типов просадочности. Представленные на карте внемасштабные знаки (квадраты красного и синего цветов) показывают достоверные места развития того или иного типа псевдокарста при техногенной нагрузке и в природных условиях.

На карте чётко прослеживается значительное преобладание проявлений техногенного псевдокарста (красные квадраты) над природным (синие квадраты). Синие квадраты, характеризующие развитие псевдокарста природного происхождения, тяготеют в основном к регионам развития вечной мерзлоты и скальных пород, где техногенный псевдокарст развит меньше. Карта показывает общую картину распространения типов псевдокарста и, в частности, лёссового псевдокарста на территории России.

Применение фрактального анализа для оценки опасности лёссового псевдокарста (на примере Яванской долины).

В последние десятилетия XX века и в начале XXI, в естествознании широкое распространение получили идеи нелинейной динамики. Рассматривая лёссовый псевдокарст как комплексное явление, приводящее к деградации лёссовых массивов, необходимо осуществить анализ состояния объекта, выявить обусловленность формирования лёссового псевдокарста целым набором природных и техногенных факторов. Для этого целесообразно использование особой методики, которая позволила бы анализировать лёссовый псевдокарст с учётом динамики его формирования. При этом надо иметь в виду, что, для природных объектов характерна не целочисленная, а дробная размерность. Фрактальный анализ как раз и

является таким математическим инструментом, который позволяет оценить характер самоподобия псевдокарстовых форм и определить его фрактальные свойства.

Например, у прямой, фрактальная размерность будет равняться 1. Чем более "изломанным" будет фрактал, тем ближе размерность его будет к 2, что характеризует степень пораженности местности поверхностными формами псевдокарста и степенью опасности. Однако, при данном методе не учитываются многочисленные подземные, не проявившиеся в активной стадии подземные формы лессового псевдокарста. Это необходимо учитывать, вводя соответствующий поправочный коэффициент F_k . Определив коэффициент фрактальной размерности развития лессового псевдокарста на картах Яванской долины в 1970 г. (начало орошения), как $D=1,27$, а в 1989 г. (спустя 16 лет после начала орошения), как $D=1,67$, и в 2012 г., как $D=1,78$, удалось отчетливо проследить динамику формирования лессового псевдокарста и установить факт роста опасности, по мере увеличения коэффициента фрактальной размерности. Наглядно это демонстрируют карты пораженности Яванской долины 1970, 1989 и 2012 гг. (рисунок 12) (Лаврусевич и др., 2013).

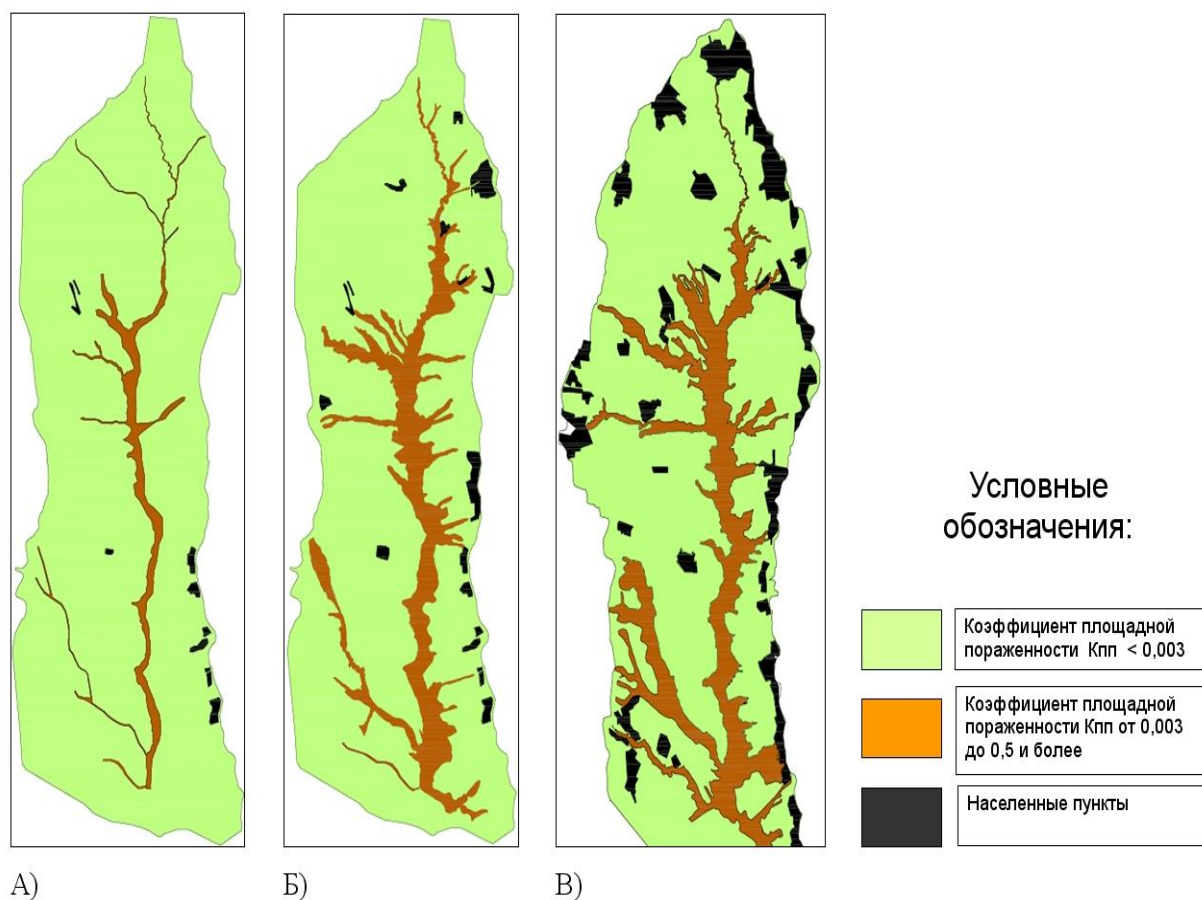


Рисунок – 12. Динамика развития лёссового псевдокарста Яванской долины. Развитие псевдокарстово-эрозионной сети: А) в 1970 г., $D=1,27$; Б) в 1989 г., $D=1,67$; В) в 2012 г., $D=1,78$.

При освоении лёссовых территории необходимо показать уровень опасности лёссового псевдокарста, который зависит как от степени опасности самого псевдокарстового процесса, так и от степени уязвимости лёссовой территории.

Обоснование уровня опасности лёссового псевдокарста производится на основании данных инженерных изысканий. Оценка опасности лёссового псевдокарста является основной задачей прогноза развития псевдокарста на данной территории сложенной лёссовыми породами.

При поражении массива лёссовых пород псевдокарстом, он перестает быть достаточно надёжным основанием какого-либо сооружения или, допустим, утрачивает функцию воспроизводства сельхозпродукции вследствие нарушения целостности массива, так как он становится уязвимым и может представлять собой ту или иную степень опасности, если уровень развития псевдокарста превышает некоторую критическую величину (Природные опасности...2003). Это приводит к необходимости характеризовать возникающую опасность как качественно, так и количественно.

Анализ результатов исследований факторов поражения территории лёссовым псевдокарстом позволяет рекомендовать следующие основные показатели опасности, ранжированные по степени важности δ_i (от 0,1 до 0,9): 1) поражённость территории лёссовым псевдокарстом; 2) скорость развития лёссового псевдокарста; 3) изменение свойств лёссов слагающих массив в результате развития лёссового псевдокарста; 4) изменение гипсометрических отметок поверхности лёссового массива; 5) индуцированные опасные геологические процессы. Каждый из показателей оценивается по следующей порядковой шкале: 0 – безопасное состояние; 1 – малая степень опасности; 2 – средняя степень опасности; 3 – большая степень опасности.

Таким образом, каждому конкретному инженерно-геологическому объекту (территории) поставлен в соответствие 5-ти мерный вектор ранжировок, характеризующий уровень опасности лёссового псевдокарста. Как известно, вектора в пространствах размерности больше 1 не могут быть упорядочены естественным образом, поэтому для возможности упорядочивания инженерно-геологических объектов по уровню опасности, необходимо использовать один из искусственных приёмов их упорядочивания.

В настоящей работе предлагается использовать метод идеальной точки Вержбицкого, основная идея которого заключается во введении одной или нескольких идеальных точек в многомерном пространстве и упорядочиванию векторов, характеризующих уровень опасности, по специально введённой функции расстояния от конкретной точки в многомерном пространстве до априори заданной идеальной точки. Надо отметить, что данный подход хорошо зарекомендовал себя при решении подобного рода задач по оценке геологического риска для г. Москвы (Рекомендации...2002).

Введём безразмерный коэффициент опасности λ_0 , который должен отражать то место рассматриваемого процесса на данной территории, которое он занимает между «идеальным» вариантом ($\lambda_0^{ид} = 0$) и «негативно-идеальным» вариантом ($\lambda_0^{нег.-ид} = 1$).

Тогда функция расстояния (интегральный критерий уровня опасности) может быть вычислена как

$$\lambda_0 = k_{норм} \sum_{i=1}^N \delta_i a_i$$

где δ_i – коэффициент значимости i -го показателя опасности (значение устанавливаемое экспертом-аналитиком от 0,1 до 0,9); a_i – значение балла i -го показателя опасности; $k_{норм}$ – нормирующий множитель, приводящий к $0 \leq \lambda_0 \leq 1$.

Итоговый результат этой методики может быть представлен в виде таблицы 4.

Таблица 4 (фрагмент). Оценка коэффициента опасности λ_0 поражения территории лёссовым псевдокарстом ($k_{i\delta_i} = 0.0980$)

Код опасности	λ_0	Код опасности	λ_0	Код опасности	λ_0	Код опасности	λ_0
00000	0,0000	03221	0.4902	13333	0.8431	23333	0.9216
00002	0.1765	03310	0.4216	20002	0.3333	30002	0.4118
00131	0.2647	03332	0.6765	20131	0.4216	30131	0.5000
00023	0.3431	03333	0.7647	20023	0.5000	30023	0.5784

Аналогичным образом, анализируя результаты исследований факторов поражения территории лёссовым псевдокарстом, автор рекомендует учитывать следующие основные показатели уязвимости, также ранжированные по степени важности δ_i (от 0,1 до 0,9): 1) литологический; 2) геоморфологический; 3) климатический; 4) биологический; 5) геотехнический; 6) экологический; 7) эксплуатационный и 8) социально-экономический. Используя метод идеальной точки Вержбицкого, может быть произведено упорядочивание инженерно-геологических объектов по степени уязвимости лёссовым псевдокарстом (таблица 5):

Таблица 5(фрагмент). Оценка коэффициента уязвимости v_y территории ($k_{i\delta_i} = 0.0758$)

Код уязвимости	v_y	Код Уязвимости	v_y	Код уязвимости	v_y	Код уязвимости	v_y
00000000	0,0000	00020101	0,1515	00220101	0,2273	10220101	0,2955
00000002	0.0455	00020120	0,1894	00220120	0,2652	10220120	0,3373
00000013	0,0985	00020133	0,2879	00220133	0,3636	10220133	0,4318
00000021	0,0833	00020202	0,2121	00220202	0,2879	10220202	0,3561

Понятие «уязвимость» необходимо вводить и исследовать при оценке риска поражения лёссовым псевдокарстом, прежде всего потому, что оно (это понятие) позволяет чётко отделить опасность поражения от риска поражения, которые явно или неявно часто отождествляются в литературе. Особенно это распространено при проведении какой-либо качественной оценки негативных процессов, связанных с поражением псевдокарстом. Суть дела состоит в том, что одна и та же оценка опасности поражения псевдокарстом разных территорий может приводить к таким негативным последствиям, которые по своим масштабам могут быть несоизмеримы. Это связано с особенностями самой территории, ее функциональным назначением, способностью объектов на данной территории реагировать на негативное развитие лёссового псевдокарста. Коэффициент риска поражения территории лёссовым псевдокарстом определяется следующим образом:

$$R_n = \lambda_0 \cdot v_y$$

Для территории, по которой проведено районирование по степени опасности и уязвимости, коэффициент риска поражения лёссовым псевдокарстом территории R_n определяется по формуле:

$$R_n = \frac{\sum_{i=1}^k v_{yi} \cdot \lambda_{0i} \cdot S_i}{S_0} \text{ где } S_0 - \text{площадь территории, для которой определяется}$$

коэффициент риска поражения лёссовым псевдокарстом R_n , $S_0 = \sum_{i=0}^k S_i$, k - число разбитых участков площади S_0 на непересекающихся между собой площадях S_i , для которых оценены и известны коэффициенты опасности поражения лёссовым псевдокарстом λ_{0i} и уязвимости поражения лёссовым псевдокарстом v_{yi} .

Положение 5. Определены методические особенности проектирования промышленного, гражданского и транспортного строительства в условиях лёссового псевдокарста, с рекомендациями снижения ущерба при строительстве и эксплуатации зданий, сооружений и освоении сельхозугодий в районах распространения лёссовых пород при их техногенном обводнении.

Парадоксально, но в проявлении псевдокарста есть позитивные моменты. Однако, это может происходить только в случае природного происхождения псевдокарста, когда этот феномен наблюдается на малоосвоенных и незастроенных территориях. Рассматривая этот случай, можно вспомнить о пещерах псевдокарстового происхождения, имеющих эстетическую, научно-познавательную и рекреационную ценность. За рубежом широко известна псевдокарстовая пещера в лёссах на левом берегу

Дуная близ деревни Сурдук в Воеводине(Сербия), (Lukić, Marković, et al., 2010).

Однако, рассматривая взаимодействие псевдокарста со сферой человеческой жизнедеятельности, можно явно увидеть отрицательные доминирующие последствия. Дадим краткий перечень основных факторов отрицательного воздействия псевдокарста на лёссовые массивы (Лаврусевич,2012):

- 1) ухудшаются прочностные и деформационные характеристики лёссовых грунтов;
- 2) за счет развития подземных и поверхностных форм псевдокарста значительно увеличивается проницаемость лёссового массива;
- 3) при формировании псевдокарста на сельскохозяйственных территориях значительно повреждаются посевы, происходит смыв удобрений и пестицидов, снижается плодородие;
- 4) при активной псевдокарстово-эрозионной деятельности происходит расчленение лёссовых массивов крупными оврагами, что приводит к невозможности их дальнейшей обработки механизированным способом и постепенной деградации данных участков землепользования;
- 5) при поражении лёссового массива псевдокарстом происходит заиливание оросительных и дренажных систем, чистка которых приводит к формированию линейно вытянутых техногенных форм рельефа;
- 6) очень часто псевдокарст разрушает ирригационные системы, когда малейшая утечка воды приводит к мгновенному появлению колодцев, воронок и провалов;
- 7) при проявлении отрицательных псевдокарстовых форм возникает неразумное желание сброса и захоронения в них различных промышленных и бытовых отходов, что не только не предотвращает, а, наоборот, приводит к активизации лёссового псевдокарста (в формирование псевдокарста вовлекается раствор, образующийся при фильтрации атмосферных осадков или подземных вод через толщу отходов, представленный высококонцентрированным фильтратом гидрокарбонатного и аммониево-натриевого состава с высоким содержанием жирных кислот, других органических соединений и тяжелых металлов);
- 8) при активном формировании лёссового псевдокарста происходит деградация существующих биогеоценозов и техно-природных ландшафтов;
- 9) если массив, пораженный псевдокарстом, находится в зоне взаимодействия с инженерным сооружением, это, как правило, приводит к его деформированию, а если это гидротехническое сооружение, то к чрезвычайным фильтрационным потерям из каналов и водохранилищ и даже к глобальному нарушению их целостности;
- 10) формирование лёссового псевдокарста нередко приводит к образованию псевдокарстового бедленда (участков площадью до нескольких тысяч гектаров невозстановливаемых земель) и выводу из сельхозоборота ценнейших поливных массивов, восстановление каждого гектара которых требует миллионных затрат;

11 Деградация лёссовых массивов в результате формирования псевдокарста приводит к возникновению социальных проблем (снижение урожайности, падение доходов населения, миграция специалистов в города или другие районы).

Основные инженерные и научные задачи строительного освоения территорий поражённых лёссовым псевдокарстом изложены в таблице 6 (Лаврусевич и др., 2012).

Таблица 6 - Основные инженерные и научные задачи строительного освоения территорий поражённых лёссовым псевдокарстом.

Детализация и совершенствование проектных задач	Перспективные задачи и методы их решения
Предпроектная стадия Составление схем районной планировки и освоения района (развитие и размещение объектов строительства)	
Мелкомасштабное районирование территории по степени поражённости лёссовым псевдокарстом	1. Дистанционное аэрокосмическое исследование лёссовых массивов по степени поражённости лёссовым псевдокарстом. 2. Мелкомасштабное районирование территории по оценке опасности воздействия лёссового псевдокарста. 3. Предварительная оценка потенциального воздействия техногенеза на развитие псевдокарста в региональном масштабе. 4. Приблизительная оценка экономического ущерба в связи с освоением территорий поражённых лёссовым псевдокарстом.
Проектирование Разработка генпланов городов, поселков, ирригационных сооружений и полей орошения, проектов детальной планировки жилой застройки и т.п.	
1. Количественная оценка опасности поражения территории лёссовым псевдокарстом. 2. Средне и крупномасштабное районирование лёссовых территорий по степени поражённости лёссовым псевдокарстом с учётом геоморфологических особенностей и техногенной нагрузки.	1. Оценка интенсивности и особенностей техногенной нагрузки на развитие лёссового псевдокарста в масштабе проектирования. 2. Разработка принципов ограничения объёмов техногенной нагрузки на лёссовый псевдокарст. 3. Районирование территории строительства и типизация участков по возможности локализации псевдокарстовых проявлений. 4. Локализация псевдокарстовых полостей по изменению распределения влажности лёссовых пород геофизическими методами. 5. Использование геофизических методов

<p>3. Оптимизация методики и объёмов инженерно-геологических изысканий с учётом особенностей лессовых массивов, поражённых псевдокарстом</p> <p>4. Назначение мероприятий для предотвращения и минимизации развития лессового псевдокарста.</p> <p>5. Прогноз развития псевдокарста с учётом техногенного воздействия</p> <p>6. Разработка рекомендаций по оптимизации параметров освоения лёссовых массивов на экономико-вероятностной основе</p>	<p>поражённости лёссовым псевдокарстом для разработки принципов планировочных решений.</p> <p>6. Оценка псевдокарстовой опасности территории по данным натуральных наблюдений и геофизических исследований, лабораторным исследованиям свойств лёссовых грунтов, общей оценке предрасположенности массива к проявлению псевдокарста (наличие ходов землероев и их количество, корней ксерофитной растительности и др.).</p> <p>7. Разработка количественных методов оценки эффективности способов инженерной подготовки территорий направленных на снижение отрицательного воздействия псевдокарста и оценки ущерба от псевдокарстовых проявлений и вызванных ими разрушений.</p>
<p>Составление проектов (рабочая документация) отдельных зданий и сооружений</p>	
<p>1. Прогноз псевдокарстовой опасности на участке размещения сооружения по данным инженерных изысканий.</p> <p>2. Создание проектов конструкций сооружений с учётом псевдокарстовых деформаций</p> <p>3. Оценка мероприятий, направленных на устранение развития псевдокарста и сравнение их вариантов.</p>	<p>1. Выявление на участке сооружения и прилегающей территории источников поступления воды в лёссовый массив, провоцирующих развитие лёссового псевдокарста.</p> <p>2. Выявление на участке сооружения и прилегающей территории локальных и общего базисов эрозии с фиксацией конусов выноса.</p> <p>3. Выявление на участке сооружения псевдокарстовых полостей и определение их геометрических параметров.</p> <p>4. Создание прогнозной модели работы сооружения при различных формах проявления псевдокарста и видах защиты от него.</p> <p>5. Прогнозирование техногенного воздействия сооружаемого объекта на развитие псевдокарста за расчётный срок эксплуатации сооружения.</p> <p>6. Создание прогнозной модели гармоничного взаимодействия сооружения с окружающей</p>

	средой с учётом псевдокарстовой опасности.
Строительство	
Обеспечение безопасных и экономичных способов производства строительных работ	
<p>1. Контроль за развитием псевдокарста в основании сооружения и на прилегающих участках.</p> <p>2. Прокладка подъездных путей с учётом регулирования сброса воды.</p>	<p>1. Нивелирование поверхности строительной площадки для исключения дополнительной возможности развития струйной эрозии.</p> <p>2. Создание защитного чехла из жирных глин мощность не менее 0,8 м для предотвращения проникновения воды в лёссовый массив.</p> <p>3. Глубокоштампование существующих псевдокарстовых форм рельефа местным увлажнённым грунтом с последующей трамбовкой до плотности 1,6 г/см³.</p> <p>4. Устройство дорог и дорожных кюветов с учётом цивилизованного сброса ливневых вод до местного базиса эрозии.</p> <p>5. Строительство ирригационных сооружений с учётом опасности развития псевдокарста (предварительное замачивание ложа каналов, пробные залповые пуски и др.).</p>
Эксплуатация	
Оптимизация гармоничного взаимодействия возведённого сооружения и окружающей среды	
<p>1. Обеспечение эксплуатационной надёжности объекта при развитии псевдокарстовых деформаций в основании сооружения.</p> <p>2. Своевременное устранение возникновения парагенезиса оползневых, просадочных, селевых, сейсмических и др. геологических процессов с лёссовым псевдокарстом.</p>	<p>1. Благоустройство территории сооружения (отвод ливневых вод, устройство цивилизованного сброса воды до базиса эрозии, устройство защитных экранов, устранение утечек из водонесущих коммуникаций и т.д.).</p> <p>2. Разработка способов ограничения воздействия сооружений на активизацию псевдокарста.</p> <p>3. Выявление ранних признаков псевдокарстовой опасности в период эксплуатации объектов (появление воронок, колодцев, глубоких промоин, трещин, понижение гипсометрических отметок отдельных участков и т.п.).</p> <p>4. Создание специальных служб эксплуатации (быстрого реагирования) по своевременному устранению причин развития лёссового псевдокарста.</p>

Рекомендации по локализации и предотвращению формирования лёссового псевдокарста. Полностью избежать опасности псевдокарста при наличии лёссовых пород и водонапорных градиентов практически невозможно. Даже на слабонаклонных поверхностях лёссовых массивов, при углах наклона поверхности до 5° отмечены случаи эрозионных размывов и начала проникновения воды по вертикальным ходам фитогенного и биогенного происхождения в глубину массива. Все мероприятия по предотвращению псевдокарста, руководствуясь подходом В.В.Толмачева и др. (1986), а также В.П.Хоменко (2003), можно разделить на активные, оказывающие прямое воздействие на псевдокарстовые процессы и пассивные, то есть не оказывающие такого воздействия. Пассивные мероприятия осуществляются до начала проявления псевдокарстового процесса, как в период строительства, так и эксплуатации сооружения, а активные – в условиях взаимодействия сооружения и псевдокарстового процесса. Все изложенное хорошо иллюстрирует дендрограмма типов и характера защиты от псевдокарста (рисунок 13) (Лаврусевич, Хоменко, 2012).

Рассмотрим кратко рекомендуемые защитные и профилактические мероприятия.

1. Архитектурно-планировочные решения позволяют предусмотреть ещё до начала строительства рациональное с точки зрения возможного поражения псевдокарстом размещение объектов на местности, их формы, плотности застройки и др. Основной принцип этой защиты – вывод объекта из опасной зоны, в которой в процессе строительства и эксплуатации сооружения ожидается формирование псевдокарста. Для этого, имея инженерно-геологическую карту осваиваемой территории, можно оценить и дать прогноз возможности появления псевдокарстовых форм. Наиболее опасными с этой точки зрения будут являться участки, расположенные в прибрежной части крупных региональных террас (придолинный тип лёссового псевдокарста). Основные принципы оптимальной архитектурно-планировочной организации изложены в работе Макухина, Тузовой, (1985).

2. Конструктивные мероприятия заключаются в использовании особых видов фундаментов и конструктивных особенностей сооружений, которые дают малую деформацию при возникновении псевдокарстовых провалов. Можно предусмотреть фундаменты глубокого заложения, фундаменты из свай-стоек, висячих свай и др. (Толмачев и др., 1986, Бондарик и др., 2009).

3. Контролирующие мероприятия включают в себя мониторинг за состоянием элементов геологической среды и строительных конструкций. При предрасположенности лёссового массива к появлению псевдокарста необходимо оперативно получать информацию о начале его формирования. В связи с тем, что псевдокарстовое разрушение лёссовых пород может протекать чрезвычайно быстро, необходимы сигнальные устройства электронного типа. Под фундаментом и на прилегающей территории необходимо на глубинах от 3 до 30 м разместить датчики, измеряющие

напряженно-деформированное состояние лессового массива и датчики порового давления, которые оперативно проинформируют о возможности появления псевдокарста (повышение влажности лёссовых пород и последующее изменение напряженно-деформированного состояния). Кроме того, необходимо расположить поверхностные и глубинные геодезические марки, контроль за которыми также даст информацию об изменении уровня поверхности массива вследствие формирования псевдокарста. Применимы также аварийные сигнальные системы, которые реагируют на смещение грунта относительно фундамента сооружения (Таршиш, Гордон, 1983).

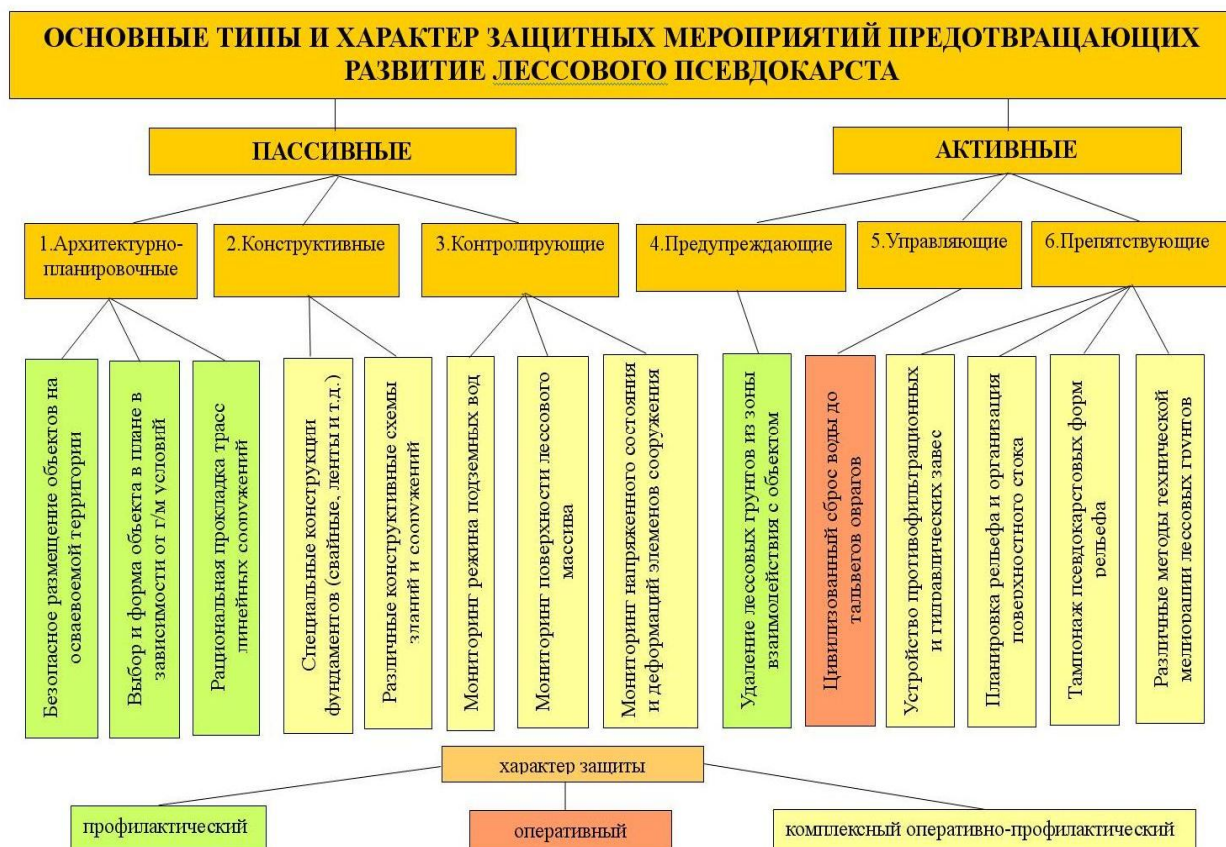


Рисунок 13 – Дендрограмма типов и характера защитных мероприятий от лессового псевдокарста.

4. Предупреждающие мероприятия представляют собой грамотные инженерные решения, направленные на предотвращение возникновения лессового псевдокарста и связанных с ним геологических процессов, в том числе, мероприятия гидромелиоративного характера. К перечню таких инженерных решений относятся: а) изъятие псевдокарстово неустойчивых пород, как это предписывает по отношению к засоленным грунтам СНиП 2.02.01-83; б) тщательная гидроизоляция искусственных водотоков и водоёмов, подземных водонесущих коммуникаций, предотвращение нецивилизованного сброса воды с поверхности лёссового массива;

в) регулирование и организация поверхностного стока, как природного, так и техногенного происхождения, предусматривающие его полный перехват системой канав, рвов, арыков, ливнеотводов и др., которые полностью исключают поступление и неконтролируемое движение воды, как по лёссовому массиву, так и внутри массива. При наличии на территории псевдокарстовых проявлений (провалов, воронок, ходов и др.) необходимо их своевременное тампонирование, засыпка местным увлажнённым грунтом с уплотнением до $1,6 \text{ г/см}^3$, с контролем надёжности тампонирования и засыпки. При сбросе воды с большим перепадом высот следует устраивать многоступенчатые консольные перепады, гасители и многоструйные консоли, а при вовлечении в эксплуатацию лёссовых территорий и массивов немедленно предотвращать малейшее проявление линейной эрозии. При начале формирования линейных потоков поверхностных вод необходимо в срочном порядке организовывать их сбор в лотки и кюветы, а сброс до ближайшего базиса эрозии следует производить, используя ступенчатые перепады высотой не более одного метра, где каждая ступень должна иметь флютбет и боковые стенки (Вызго, 1932). При поливе сельскохозяйственных культур на лёссовых массивах следует максимально использовать капельное распыление влаги, поливные борозды располагая поперек угла склона, а не вдоль склонов, причем сам полив производить без сброса и строго дозированными объемами. При этом, необходимо исключить излишнюю подачу воды на орошаемые поля.

5. Отличительной особенностью управляющих мероприятий является их оперативный характер, направленный на снижение разрушительной силы подземного потока в лёссах при его возникновении. При строгом учете водопотребления, особенно промышленными предприятиями, возможно принятие срочных оперативных мер. При внезапном увеличении расхода воды до 20% необходимо срочно, в течение 1-2 часов, предпринять меры к поиску мест утечек и путей миграции воды, а при невозможности их обнаружения в течение 3-х часов прекратить подачу воды, вплоть до остановки предприятия.

6. Для проведения мероприятий, препятствующих формированию псевдокарста, необходимо решить три основные задачи:

- 1) предохранять лёссовые породы от воздействия воды;
- 2) ликвидировать возможность выноса разрушенных лёссовых пород к базису эрозии;
- 3) превратить лёссовые породы в устойчивые к псевдокарстованию.

Первая задача решается изоляцией лёссового массива от воздействия поверхностных и техногенных вод с помощью канав, кюветов, арыков и др.

Вторая задача решается тампонированием полостей, трещин, поноров, колодцев и других поверхностных форм псевдокарстового рельефа, являющихся своего рода водоприемными образованиями лёссового массива.

Решение третьей задачи достигается путем применения различных методов и способов технической мелиорации грунтов. Например, создание на поверхности лёссового массива толщи искусственно уплотнённых грунтов

мощностью не менее 0,7м, которая будет служить своеобразным экраном, препятствующим возникновению и развитию псевдокарстовых ходов.

В связи с тем, что псевдокарстовые процессы весьма скоротечны, характер и объёмы мероприятий по их предотвращению и локализации зависят от конкретных инженерно-геологических условий территории строительства или эксплуатации уже построенного сооружения. Набор мероприятий мало отличается от противокарстовых, хотя, как было показано выше, есть и свои отличительные особенности.

Рекомендации хозяйственного освоения территорий возможного развития лессового псевдокарста. До настоящего времени не разработаны нормативные документы по проектированию и строительству на территориях, поражённых лессовым псевдокарстом. Основное правило – недопустить развитие псевдокарста. Псевдокарст легче предотвратить, чем бороться с ним. Главной отличительной чертой лёссового псевдокарста является его весьма кратковременные периоды активной, реактивной и полной стадий, что приводит к очень быстрому разрушению лёссового массива и инженерного сооружения. При развитии воронок, колодцев и провалов под возведённым сооружением и в непосредственной близости от него, требуется предусмотреть при проектировании обеспечение восприятия дополнительных изгибающих моментов и поперечных сил (Лаврусевич, Хоменко, 2012). Наибольшее распространение в карстоопасных районах

получили монолитные железобетонные фундаменты в виде лент, перекрёстных лент и плит, что рекомендуется применять также при формировании псевдокарста в лёссах (рисунок 14).

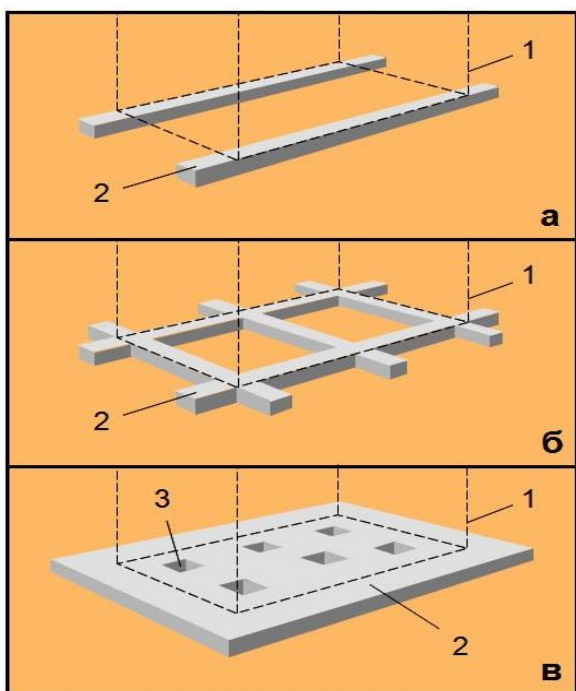


Рисунок 14– Рекомендуемые к применению типы монолитных железобетонных фундаментов, защищающих здания от провалов: а) ленты; б) перекрестные ленты; в) плита; 1 – контуры здания; 2 – консольные выпуски фундамента; 3 – сквозные отверстия, предназначенные для оперативной ликвидации провала.

Основная задача этих типов фундаментов – обеспечить необходимую прочность, жесткость конструкции и несущего основания при образовании под ними псевдокарстового провала. В краевых частях сооружения, для уменьшения силового воздействия рекомендуется устройство консольных выпусков за пределы контура сооружения. Длины консольных участков должны быть соизмеримы с

размерами ожидаемых провалов (Толмачев и др.1986).Рекомендуется также устройство горизонтального рамного пояса на уровне перекрытия первого этажа (рисунок 15). Этот рамный пояс, в сейсмических районах, будет выполнять двойную функцию, одновременно являясь и антисейсмическими противопсевдокарстовым. Такое конструктивное решение способствует увеличению общей жёсткости здания (пояса поэтажного перекрытия жёстко связаны с фундаментной частью сооружения). Кроме того, рекомендуется устройство свай-стоек и висячих свай, выпадение которых препятствует выполаживанию стенок провала (рисунок 16).

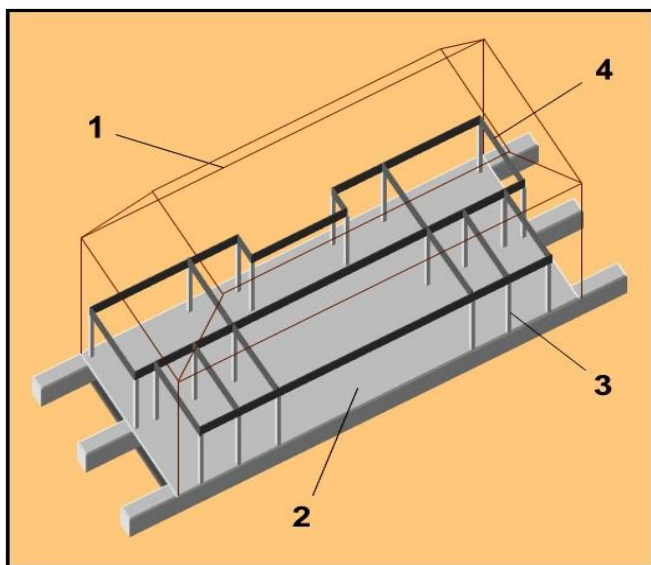
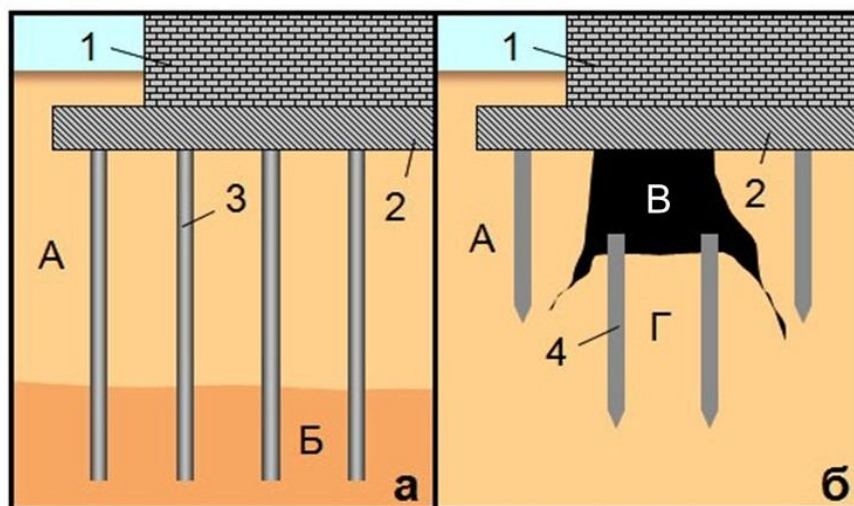


Рисунок 15 - Схема комплексной конструктивной защиты двухэтажного кирпичного жилого дома от провалов
1 – контуры здания; 2 – ленточный фундамент; 3 – монолитная армированная стойка; 4 – рамный пояс на уровне межэтажного перекрытия

Рисунок 16 - Варианты устройства свайных фундаментов для защиты здания от лёссового псевдокарста с использованием

свай-стоек (а) и висячих свай (б). Конструктивные элементы здания: 1 –



надфундаментная конструкция; 2 – монолитный железобетонный ростверк; 3 – железобетонная буронабивная свая-стойка; 4 – железобетонная забивная висячая свая квадратного сечения, свободно выпадающая из

ростверка. Элементы геологической среды: А – лёссовые породы, подверженные псевдокарстованию; Б – породы с высокой несущей способностью; В – псевдокарстовая полость; Г – обрушившаяся порода.

Автор не останавливается на методике расчёта размера псевдокарстовых провалов, которая достаточно подробно освещена в работе В.В. Толмачева и др.(1986) применительно к карсту.

Заключение

1. Диссертационная работа представляет собой теоретическое осмысление процесса лёссового псевдокарста. Данное исследование отличается от попыток отечественных и зарубежных исследователей осветить тему широтой охвата проблемы лёссового псевдокарста. Проведенные исследования феномена лёссового псевдокарста позволили определить, что это комплексный геологический процесс, на формирование и развитие которого влияют литологические, климатические, геоморфологические, биологические факторы. Существуют некоторые особенности влияния биологических факторов, когда растительность укрепляя лёссовый массив, препятствует развитию лёссового псевдокарста и одновременно подготавливает пути проникновения воды на глубину до 30м.
2. Феномен лёссового псевдокарста обусловлен условиями его формирования, а динамика определяется особенностями: рельефа земной поверхности; строения толщи лёссовых пород; жизнедеятельности обитающих в них организмов; техногенных воздействий на геологическую среду и их характера. В соответствии с этим выделены разнообразные подземные и поверхностные формы, а также характерные типы лёссового псевдокарста, формирующиеся согласно определённым концептуальным моделям: придолинный, придолинно-балочный, балочный, приуроченный к откосам, а также типы, связанные с подземной экскавацией лёссов, с оползнеобразованием и с просадочностью. Выявлена стадийность развития лёссового псевдокарста.
3. Установлены критерии опасности и уязвимости развития лёссового псевдокарста (пораженность территории, скорость развития, изменение свойств лёссовых пород, индуцированные геологические процессы, общее снижение гипсометрических отметок массива и др.). Проведена оценка опасности, уязвимости лёссовых массивов, и показана степень геологического риска при развитии лёссового псевдокарста.
4. Определена роль техногенеза в формировании и развитии лёссового псевдокарста. Обобщение многочисленных фактов развития лёссового псевдокарста показало, что количество форм лёссового псевдокарста образованных в результате техногенеза, превышает количество форм лёссового псевдокарста образовавшихся в природных условия более чем в 13 раз. В Китае, в пределах Лёссового плато, эта цифра может быть увеличена на порядок.
5. Разработаны основные типы и характер защитных мероприятий по предотвращению и борьбе с лёссовым псевдокарстом. Определены основные условия безопасной эксплуатации лёссовых массивов при строительстве зданий, инженерных сооружений и сельскохозяйственном использовании.

Список публикаций по теме диссертации

В изданиях из перечня ВАК:

- 1.Лаврусевич А.А. Псевдокарст на территории сельскохозяйственного освоения земель в Таджикистане / С.А.Лаврусевич, А.А.Лаврусевич//Докл.АН Тадж.ССР, Т.ХХVI.1983. - №11. - С.723-726.
- 2.Лаврусевич А.А. Некоторые формы переработки лёссовых берегов горных водохранилищ (на примере Нурекского водохранилища) /А.А.Лаврусевич, С.А.Лаврусевич // Докл.АН Тадж.ССР. 1985. Т.ХХVIII.- №2.- С. 358-362.
- 3.Лаврусевич А.А. Суффозионный оползень на левом борту Нурекского водохранилища // Докл. АН Тадж.ССР. 1985. Т.ХХVIII.- № 5.- С. 299-301.
- 4.Лаврусевич А.А. Псевдокарст прибрежной зоны Нурекского водохранилища / А.А.Лаврусевич, С.А.Лаврусевич //Докл.АН Тадж.ССР. 1986. Т.ХХIX. - №3. - С. 172-175.
- 5.Лаврусевич А.А. Географическая среда и лёссовые породы Туткаульской впадины (Таджикистан) / А.А.Лаврусевич, С.Ш.Шаимов // Изв.АН Респ. Тадж.1992.- №1.- С.57-62.
- 6.Лаврусевич А.А. Изменение свойств грунтов и геологических процессов в зависимости от природной среды и техногенеза//Докл.АН Респ.Тадж., 1993. Т.ХХХУ. - № 7-8.- С.337-341.
- 7.Лаврусевич А.А. Опасный техноприродный процесс в лёссовых массивах // Вестник МГСУ - М. - 2010. - №2. - С.181-185.
- 8.ЛаврусевичА.А. Основные черты техногенеза//Вестник МГСУ–М. -2010.- №4. Т.2.- С.175-181.
- 9.ЛаврусевичА.А. Некоторые особенности инженерно-геологических изысканий на территориях пораженных лёссовым псевдокарстом // Инженерные изыскания.-М. - 2010. - № 10. - С. 20-23.
- 10.Лаврусевич А.А.К вопросу о состоянии нормативного обеспечения инженерно-экологических изысканий для строительства при оценках атмосферы/Н.А.Платов, А.Д.Потапов, А.А.Лаврусевич и др. //Вестник МГСУ – М. - 2011.- № 4.- С.432-436.
- 11.Лаврусевич А.А. О состоянии нормативного обеспечения экологических оценок гидросферы в условиях техногенеза (при изысканиях для строительства) / Н.А. Платов, А.Д.Потапов, А.А.Лаврусевич и др. //Вестник МГСУ – М. - 2011.- № 5. - С.197-204.
- 12.Лаврусевич А.А.Опыт оценки активизации псевдокарстовых процессов в лёссах (на примере Яванской долины - Таджикистан) / А.А.Лаврусевич, С.А.Лаврусевич // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология – М. – 2011.- №4.- С.362-369.
- 13.Лаврусевич А.А. Оценка недр, земельных ресурсов и почв при инженерно-экологических исследованиях на стадии проектирования сооружения/Н.А.Платов, А.Д.Потапов, А.А.Лаврусевич и др. //Вестник МГСУ - М.-2012. - №2.- С.77-84.

14. Лаврусевич А.А. Лёссовый псевдокарст и опыт укрепления лёссовых массивов и откосов искусственными посадками некоторых растений (на примере лёссового плато в провинциях Ганьсу и Шеньси, Китай) / А.А.Лаврусевич, В.С.Крашенинников, И.А.Лаврусевич // Инженерная геология. – М. -2012.- №1. - С.48-58.
15. Лаврусевич А.А. Некоторые оценки геоэкологического состояния лёссовых массивов пораженных псевдокарстом // Разведка и охрана недр – М.- 2012.- № 7.-С.44-47.
16. Лаврусевич А.А. Инженерная защита территорий, пораженных лёссовым псевдокарстом / А.А.Лаврусевич, В.П.Хоменко // Вестник МГСУ-М.-2012. - №10.- С.213-221.
17. Лаврусевич А.А. Проблемы строительного освоения пораженных псевдокарстом лёссовых массивов / А.А.Лаврусевич, В.П.Хоменко, И.А.Лаврусевич // Промышленное и гражданское строительство – М. – 2012.- №11.-С.8-10.
18. Лаврусевич А.А.. Некоторые особенности фрактального анализа псевдокарстового процесса в лёссах (на примере Яванской долины, Таджикистан) / А.А.Лаврусевич, В.С.Захаров, В.П.Хоменко // Инженерная геология. – М. – 2013 - №2. – С.70-76.
19. Лаврусевич А.А. Псевдокарст и лёссовые массивы как объект охраны недр // Разведка и охрана недр – М.- 2013.- № 7.-С.65-70.

Публикации в других изданиях:

1. Лаврусевич А.А., Лаврусевич С.А. Пример развития лёссового псевдокарста балочного типа в Таджикистане. Респ. конф. молод.учен. и специалистов. Ч.1. Душанбе, 1984. С.109.
2. Лаврусевич А.А. Некоторые формы переработки лёссовых берегов Нурекского водохранилища. Респ. Науч.-практич. конф. молод.учен. и специалистов. Ч.1. Душанбе, 1985. С.25.
3. Лаврусевич А.А. Просадочные явления на левом борту Нурекского водохранилища. Респ. конф. молод.учен. и специалистов. Ч.1. Душанбе, 1985. С.106.
4. Лаврусевич А.А., Тюдин В.А. Вопросы прогнозирования заиления горных водохранилищ (на примере Нурекского водохранилища). Респ. конф. молод.учен. и специалистов. Ч.1. Душанбе, 1985. С.74-77.
5. Лаврусевич А.А. Формирование ниши в основании лёссовых откосов. В сб.: Материалы конф. молод. ученых и специалистов АН Тадж.ССР. Душанбе. 1987. с.48.
6. Лаврусевич А.А., Лаврусевич С.А. Псевдокарстовый бедленд Таджикистана. Респ. конф. молод. учен. и специалистов АН Тадж.ССР. Душанбе, 1987г. С.51
7. Лаврусевич А.А., Лаврусевич С.А. Методика наблюдения за развитием псевдокарста на территории Таджикистана. В сб. Мат-лы Респ. Конф. Молод.

Ученых и специалистов. Ч. II. Душанбе, 1989 г. С. 54-58.

8. Лаврусевич А.А., Лаврусевич А.И. Карст и его проявления в Орловской области. Тезисы докладов научно-практической конференции. Ч. 1. Орел. 1994 г. С. 25.

9. Лаврусевич А.А., Трофимец Л.Н., Ревякин В.И. Формирование современного взгляда на природные ресурсы. Мат. научн.-практич. Конф. Инновационные процессы в образовании, проблемы и перспективы. Орел. 1995. С. 225-226.

10. Лаврусевич А.А., Лаврусевич А.И. Некоторые проблемные вопросы геологии в школьной географии. Проблемы современной науки. Мат-лы межвузовской областной конференции. Орел. 1996. С. 78-79.

11. Лаврусевич А.А., Лаврусевич С.А. Псевдокарст на территории распространения лёссовых пород. Тезисы международного совещания. Новороссийск, 2008 г. С. 118-123.

12. Lavrusevich A.A., Lavrusevich S.A., Gorshkova O.G. Technogenesis and behavior of loessial rock. Proceedings of international Scientific Conference. Vladivostok. 2009. p. 130-131.

13. Лаврусевич А.А., Лаврусевич С.А. Оценка степени пораженности псевдокарстом лёссовых массивов при инженерно-геологических изысканиях // Сергеевские чтения. Вып. 12. – М.: РУДН. 2010. С. 147-150.

14. Лаврусевич А.А. Некоторые вопросы инженерно-геологических изысканий в лёссовых массивах (на примере Таджикистана). // Актуальные вопросы инженерной геологии и экологической геологии. Труды Межд. научной конф. МГУ. 2010. С. 97-98.

15. Лаврусевич А.А., Лаврусевич С.А. Лёссовый псевдокарст как опасный техноприродный процесс // Проблемы сейсмологии в Узбекистане №7. Мат-лы межд. конференц. «Современные проблемы сейсмологии, гидрогеологии и инженерной геологии» Т. II. Ташкент. 2010. С. 224-227.

16. Лаврусевич А.А. Лёсс и техногенез // 13-я Междунар. межвуз. научн.-практич. конф. молод. ученых, докторантов и аспирантов «Строительство – формирование среды жизнедеятельности». Москва. МГСУ. 2010. с. 291-294.

17. Лаврусевич А.А., Лаврусевич С.А. Оценка степени пораженности псевдокарстом лёссовых массивов при инженерно-геологических изысканиях // Сергеевские чтения. Вып. 12. – М.: РУДН. 2010. С. 147-150.

18. Лаврусевич А.А., Лаврусевич С.А. Техногенез и изменение свойств лёссовых пород. 7 международная конференция «Устойчивое развитие горных территорий в условиях глобальных изменений» Владикавказ, 14-16 сентября 2010, С. 123-127.

19. Лаврусевич А.А., Лаврусевич И.А. Типы лёссового псевдокарста и оценка уровня геологической опасности. В сб. тр. Международной научно-практической конференции «Ресурсно-экологические проблемы волжского бассейна», Владимир, 2011. С. 75-77.

20. Лаврусевич А.А., Платов Н.А., Потапов А.Д., и др. Оценка атмосферы при инженерно-экологических исследованиях. // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. №11. 2011. С. 40-41.

21. Лаврусевич А.А. Типы лёссового псевдокарста и оценка уязвимости и опасности лёссовых массивов // Сергеевские чтения. Вып.14. – М.: РУДН.2012. С.189-193.
22. Лаврусевич А.А., Вдовина О.К., Карабаев Г.В. Некоторые эколого-геохимические аспекты лёссового псевдокарста // Сергеевские чтения. Вып.14. – М.:РУДН.2012. С.168-172.
23. Лаврусевич А.А., Горелов Ю.И., Вдовина О.К. Некоторые методологические положения по оценке риска поражения территории лёссовым псевдокарстом // Мат-лы Рос. Конф. с междунар. участ. «Геотехнические проблемы проектирования зданий и сооружений на карстоопасных территориях» 22-23 мая 2012г. Уфа. 2012. С.173-178.
24. Лаврусевич А.А. Оценка геоэкологического состояния лёссовых массивов пораженных псевдокарстом. Всероссийская научно-практическая конференция «Геолого-геохимические проблемы экологии». Москва, 26-27 апреля 2012г. Тезисы докладов. С.71-72.
26. Лаврусевич А.А. Оценка опасности, уязвимости лёссовых массивов и степени геологического риска при развитии лёссового псевдокарста. Международная научно-практическая конференция по проблемам снижения природных опасностей и рисков «ГЕОРИСК – 2012». Москва. С.301-305.
27. Lavrusevich A.A. Vulnerability array loess from the effects of pseudokarst. International conference Enggeopro – 2011. Moscow, 6-8 September 2011. P.69-70.
28. Lavrusevich A., Potapov A., Snomenko V., Krashennnikov V. Classification forms of loess pseudokarst. International conference on loess research. Loess in China and Europe, 27-30 september 2012 – Novi Sad, Vojvodina, Serbia. P.187.