

ПСЕВДОКАРСТ В ЛЕССОВЫХ ПОРОДАХ

Для районов распространения лёсса и лёссовидных пород псевдокарст является характерным процессом. За последние годы в связи с расширяющимся строительством на лёссовых грунтах и сельскохозяйственным освоением земель лёссовый псевдокарст, к сожалению, получает все более широкое распространение. Он вызывает деформации зданий, промышленных и гидротехнических сооружений и дорог, от него все больше страдают ценные поливные земли. Псевдокарст на наших глазах превращается в столь же значительную угрозу народному хозяйству, как и просадочные явления. Но с просадочными явлениями способы борьбы разрабатываются уже давно, тогда как лёссовый псевдокарст до сих пор остается слабо изученным.

Лёссовый псевдокарст (ЛП) изучался авторами с применением методов геоморфологии, инженерной геологии и геофизики в Таджикистане, Узбекистане, близ Алма-Аты, в Рудном Алтае, Предкавказье, в центральной части Восточно-Европейской равнины. Некоторые данные опубликованы [1—7]. Ниже мы приводим основные итоги исследований.

ЛП иногда описывается в литературе также под названием карста, глинистого карста, карстово-суффозионных явлений и т. д. Однако ЛП (имеются в виду формы и создающий их процесс) отличается от настоящего карста резким преобладанием механической суффозии над химической [3, 8]. Так называемый глинистый карст (псевдокарст) до сих пор плохо изучен, но, вероятно, отличается от ЛП более значительной ролью химической суффозии.

Насколько нам известно, ЛП впервые был описан в Китае [9—11]. На территории СССР его изучали М. М. Решеткин [12], К. И. Лисицын [13] и другие исследователи, в том числе новейшие [14—16]. ЛП описан также в США, Польше, Венгрии, Чехословакии и т. д. Литература приводилась в более ранней работе [3].

Псевдокарстовый процесс в лёссовых породах состоит в образовании небольших пещер и соединяющих их узких проходов, в обрушении кровли пещер и образовании поверхностных провальных и провально-суффозионных форм. Иногда поверхностные формы столь многочисленны, что образуются «дурные земли» с многочисленными впадинами и остаточными формами рельефа между ними. Уточняя и дополняя ранее предложенную Н. И. Кригером [3] классификацию псевдокарстовых форм рельефа, мы предлагаем ее сейчас в следующем виде.

I. ПОДЗЕМНЫЕ ФОРМЫ

1. *Трещины и узкие ходы*, узкие подземные промоины, развивающиеся вдоль трещин и ходов роющих животных. 2. *Расширенные пустоты и пещеры*. Их диаметр в плане 2—3 м, высота потолка над полом 1—1,5 м, реже до 3 м. Узкие пещеры с высотой потолка 0,5—1 м иногда прослеживаются в плане на 10 м и более.

II. ПОВЕРХНОСТНЫЕ ФОРМЫ

А. *Провальные формы*. 1. *Воронки*. Имеют диаметр 2—15 м, глубину 2—4 м, обычно встречаются группами и, сливаясь, иногда образуют обширные провальные впадины. Иногда наблюдаются воронки двух генераций: более молодые свежие воронки располагаются на дне старых, заросших травой. По размерам участков, занятых слившимися воронками, нельзя судить о первоначальных размерах пещер, так как обычно в этих случаях воронки разновозрастны. 2. *Провальные траншеи* — раз-

новидность воронок, имеют длину до 50 м при ширине 2—3 и глубине 1—4 м. Развиваются, вероятно, вдоль трещин в лёссе в результате разновозрастных провалов. 3. *Провальные «овраги»* (рис. 1). Образуются при развитии цепочки провальных воронок в результате одновременных провалов. Характерная особенность этих образований — неровное, изрытое воронками дно. Длина провальных «оврагов» иногда составляет многие десятки метров. Нередко они бывают слепыми, выход в более крупную долину осуществляется посредством подземных ходов.



Рис. 1. Провальный псевдокарстовый овраг. Гиссарский район

Б. Суффозионно-эрозионные формы. Главными представителями этих образований являются колодцы, они же стаканы, шахты. Имеют вертикальные стенки, глубину до 8 м, диаметр в плане до 1,5 м, на дне их нередко располагаются уходящие вглубь трещины. Колодцы могут являться понорами временных водотоков. Небольшое значение в образовании колодцев могут иметь и провальные явления.

В. Комплексные провально-эрозионно-суффозионные формы. При некоторых условиях развиваются крупные псевдокарстовые впадины, называемые нами цирками. Они создаются работой поверхностной и подземной эрозии совместно с процессами гравитационного обрушения сводов нескольких пещер, иногда имеют диаметр до 30 м, глубину до 15 м. Такой цирк находится на правом берегу р. Терека ниже г. Моздока у станции Верхний Наур. Еще более колоссальный цирк можно наблюдать в Таджикистане, в Шахринаусском районе в долине Сурхан-дарьи. Здесь его появление вызвано, по всей вероятности, образованием трещин при смещении крупного блока лёсса и позднейшей эрозией вдоль

плоскости смещения. Эрозия явилась следствием значительных утечек воды и ее инфильтрации при неорганизованном орошении. Диаметр псевдокарстового цирка около 70 м, его глубина более 40 м. Насколько нам известно, это один из крупнейших в мире псевдокарстовый цирк.

Г. Остаточные формы. Обычно наблюдаются на участках интенсивного развития лёссового псевдокарста среди территории «дурных земель». 1. *Стены.* Характерная форма, разделяющая провальные «овраги». Они могут иметь длину несколько десятков метров при высоте 2—4 м и ширине до полуметра. Обычно стены недолговечны. Они описаны в Китае [10, 17] и в Рудном Алтае [1, 3]. 2. *Лёссовые останцы* подобно стенам образуются между провальными «оврагами» или воронками. От стен останцы отличаются неправильной или округлой формой в плане, а нередко — более значительными размерами. 3. *Мосты (арки)* — остатки кровли над провальными «оврагами» и воронками. В Китае они иногда висят над дном впадин на высоте до 10 м.

Процессы ЛП даже при наличии мощных лёссовых толщ редко распространяются на глубину более 10 м. Глубже в лёссовых породах изредка встречаются лишь открытые трещины и кротовины, обычно способствующие развитию псевдокарста при проникновении в породу воды. ЛП следует рассматривать как зональное географическое явление, поскольку зональным является распространение лёсса и наиболее близких ему лёссовидных пород. Наиболее интенсивное развитие ЛП наблюдается в условиях полупустынь и сухих степей. Внутри зоны распространения лёссовых пород псевдокарст закономерно приурочен к определенным геоморфологическим и техногенным условиям. ЛП распространен преимущественно в следующих условиях.

1. Вдоль бровок обрывов в полосе шириной не более 200 м [3, 12]. По мере удаления от бровки трещиноватость лёссовых пород несколько уменьшается и псевдокарст встречается редко. 2. В слабовыраженных в рельефе саях (балках) на протяжении до 1000 м от устьев. Это наблюдалось, например, в 8 км к ЮЗ от г. Явана в Таджикистане на специальной площадке по изучению лёссового псевдокарста [3]. Здесь хорошо видно также, что псевдокарст избегает степных блюдцев, в которых порода имеет более высокую влажность (рис. 2). 3. В зонах нарушений лёссового массива, например на участках оползней глубокого заложения. Геологическое строение вышеупомянутой площадки по изучению псевдокарста позволяет предполагать, что слабовыраженный сай с развитием псевдокарста приурочен к зоне небольшого гравитационного смещения массива (рис. 3). Это смещение могло способствовать возникновению трещин в породе, инфильтрации атмосферных осадков в грунт и развитию подземной эрозии и суффозии.

Процессы техногенеза обычно играют очень большую роль в развитии ЛП. Можно утверждать, что в нетронутых техногенезом условиях, когда лёссовые породы находятся в состоянии метастабильного равновесия, ЛП не является характерным процессом. Зато при вторжении техногенеза, термодинамическое равновесие быстро нарушается и псевдокарст интенсивно развивается. Установлена приуроченность ЛП к районам, в которых происходит строительство на лёссовых грунтах и нарушается сплошность почвенного покрова: утечки промышленных и бытовых вод способствуют инфильтрации воды в грунт и т. д.; прокладываются каналы в лёссовых грунтах на косогорах (в этом случае псевдокарстовые деформации иногда прослеживаются на расстояние до 900 м от канала в направлении уклона местности [18]); распаиваются земли на лёссовых территориях с беспокойным рельефом. Во многих случаях возраст ЛП, по-видимому, определяется датой начала распаивания земель. Борьба с техногенным развитием ЛП должна вестись путем разумного выбора строительных площадок и строительных мероприятий, ограничения территории подлежащих распаиванию земель с учетом рельефа местности, путем организации наблюдений за эксплуатацией зданий, сооружений, подземных коммуникаций и земельных угодий, проведения современных защитных мероприятий при проявлении ЛП [3, 4].

ЛП от типичного карстового процесса, вызванного химической суффозией в растворимых породах, отличается ограниченностью площади распространения и значительно более высокой скоростью развития. Если показатель активности карстового процесса (отношение объема выносимых за 1000 лет при химической- и механической суффозии пород к объему карстующегося массива) составляет [19] для известняков $1 \cdot 10^{-6} - 5 \cdot 10^{-3}$, для гипса $8 \cdot 10^{-3} - 1,9 \cdot 10^{-3}$, для каменной соли горы Ходэа-Мумын $4,3 \cdot 10^{-2}$, то для ЛП последняя цифра, по нашим ориентировочным подсчетам [7], должна быть увеличена по крайней мере еще на один порядок.

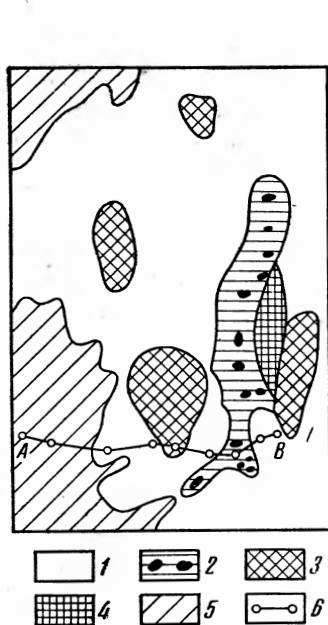


Рис. 2

Рис. 2. Схема опытного участка по изучению лессового псевдокарста
1 — основная территория развития лёсса, 2 — территория лессового псевдокарста. Зачерненные участки — провальные формы, 3 — степные блюдца, 4 — гряды, сложенные песчаниками с маломощным покровом лессовых пород, 5 — склоны саев, 6 — места проходки выработок на линии разреза АВ

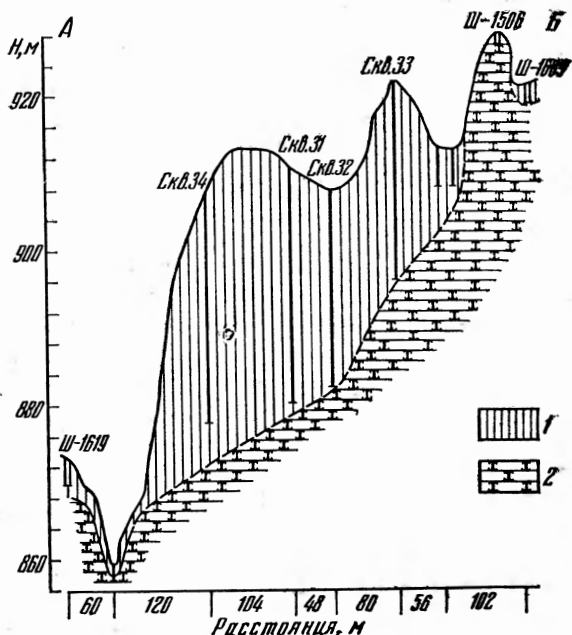


Рис. 3

Рис. 3. Разрез по линии АВ
1 — лёсс, 2 — песчаники

Для развития ЛП наиболее оптимальные условия имеются в относительно рыхлых и не сильно упрочненных разностях лёсса с низкой (менее 12%) весовой влажностью. Количество CaCO_3 в породе может колебаться в пределах 10—20%, но в пораженных псевдокарстом породах эта цифра обычно не превышает 15%. Высокие значения количества CaCO_3 упрочняют породу и тормозят развитие псевдокарста. Для пораженных псевдокарстом пород характерно невысокое значение модуля деформации $E=20$ МПа, несмотря на низкую влажность породы. Развитию псевдокарста способствуют общая высокая пористость лессовых пород (обычно более 50%), а также наличие сети трещин и кротовин. Количество водно-растворимых соединений (по данным водных вытяжек) в лессовых породах обычно небольшое, редко больше 1% от веса породы. Замечено, что при количестве водно-растворимых соединений $<0,05\%$ ЛП развивается неактивно. Хотя химическая суффозия при ЛП играет незначительную роль, однако растворение содержащегося в породе небольшого количества легкорастворимых солей способствует разрушению породы и не может игнорироваться.

Иногда просадки, ЛП и образование степных блюдцев и западин рассматривают как разновидности просадочного процесса [13, 20]. Мы не

можем согласиться с такой точкой зрения. Блюда и поды могут являться унаследованными формами, в которых условия увлажнения способствовали более плотной «упаковке» вновь образующихся лёссовых отложений [3, 21]. Медленное повышение влажности лёссовых пород вызывает просадку, но исключает развитие псевдокарста. Развитие псевдокарста требует условий, при которых вода циркулирует по трещинам и ходам в лёссовой породе, но не смачивает массив полностью. Поэтому если употреблять иногда используемые за последние годы термины «просадочно-эрозионные» и «просадочно-суффозионные» формы рельефа, то под ними надо разуметь формы, созданные совместной работой нескольких самостоятельных процессов.

В окрестностях г. Красноярска в лёссе описаны псевдокарстовые пустоты диаметром до 1,5 м, приуроченные к псевдоморфозам по повторно-жильным льдам. Обзор литературы по этому вопросу был дан ранее [1, 3]. В подобных случаях может происходить наложение псевдокарстовых процессов на следы перигляциальных явлений, поскольку в псевдоморфозах по повторно-жильным льдам порода могла быть рыхло уложена и даже сохранить пустоты от вытаявшего или испарившегося льда. Вопрос о роли ископаемых криогенных явлений в развитии ЛП заслуживает дальнейшего изучения.

Большой интерес представляет вопрос о роли живых организмов в развитии ЛП. Выше уже указывалось значение ходов роющих животных для проникновения воды в грунт: Следовательно, наблюдается совпадение участков, экологически благоприятных для жизни животных-землероев, с районами развития псевдокарста. Развитие псевдокарста меняет экологическую обстановку. Но не касаясь этого явления, заслуживающего самостоятельного исследования, надо отметить другие связи псевдокарста с органическим миром. Большое значение, вероятно, имеет работа синезеленых и других водорослей, а также бактериальной флоры, поскольку они могут вызывать образование на дне пустот уплотненной глинистой корочки с пониженной водопроницаемостью [3, 7]. Наличием этой корочки можно объяснить важное для развития псевдокарста явление, состоящее в том, что вода в псевдокарстовых пустотах временами движется в виде потоков на сотни метров, не растекаясь в пористом лёссе. Падающие со стенок и потолка пустот глыбы лёсса размываются и уносятся временными водными потоками.

В самое последнее время одним из авторов (С. А. Лаврусевичем) получены прямые данные, подтверждающие роль низших организмов в развитии псевдокарста в Таджикистане. В составе упомянутой «глинистой корочки» обнаружены водоросли синезеленые, зеленые, желтозеленые (*Cyanophyta*, *Chlorophyta*, *Xanthophyta*) и диатомовые (*Bacilloriphyta*). «Глинистую корочку» можно рассматривать как сложное образование из глинистого субстрата, водорослей, грибов и отчасти мхов. «Глинистые корочки» покрывают не только дно, но в меньшей степени также стенки и потолки пустот.

Таким образом, ЛП представляет собой сложный зональный процесс изменения подземного и поверхностного рельефа в недоуплотненных лёссовых породах, обладающих «водобоязнью». В этом процессе участвуют факторы гидромеханические, гравитационные, биологические и физико-химические. Последние состоят в растворении солей в породе, что ослабляет структурные связи, и разбавлении порового раствора, благодаря чему водные оболочки вокруг зерен утолщаются и оказывают расклинивающее действие на породу, что облегчает отрыв частиц от общей массы породы и последующий вынос их при механической суффозии.

Авторы, пользуясь случаем, благодарят биолога Г. А. Базову и палеонтолога В. Д. Салтовскую за определения водорослей и других организмов из псевдокарстовых пустот.

1. Кригер Н. И. О происхождении лесса Рудного Алтая.— Тр. Комис. по изуч. четверт. периода АН СССР, 1963, т. 22, с. 139.
2. Кригер Н. И. Лёсс, его свойства и связь с географической средой. М.: Наука, 1965. 296 с.
3. Кригер Н. И. Лёссовый псевдокарст.— В кн.: Вопросы теории и методики инженерной геодинамики. Тр. ПНИИИС, 1975, вып. 32, с. 25.
4. Кригер Н. И., Алешин А. С., Котельникова Н. Е. Руководство по изучению геологических процессов в лёссовых грунтах при инженерных изысканиях. Лёссовый псевдокарст. М.: Стройиздат, 1976. 16 с.
5. Кригер Н. И., Гранит Б. А., Игнаткин Е. И. и др. Концептуальная модель лёссового псевдокарста.— В кн.: Моделирование формирования суффозионных и карстовых полостей. (Тез. докл. научно-технич. сем.). Пермь, 1979, с. 11.
6. Кригер Н. И., Гранит Б. А., Игнаткин Е. И. и др. Опыт комплексного изучения лёссового псевдокарста для строительных целей (на примере окрестностей Алма-Аты).— В кн.: Комплексные научные исследования в инженерных изысканиях для строительства. ПНИИИС, сб. научн. тр. М.: Стройиздат, 1982, с. 50.
7. Кригер Н. И., Лаврусевич С. А. Происхождение лёссового псевдокарста.— Докл. АН ТаджССР, 1981, т. 34, № 7, с. 444.
8. Гвоздецкий Н. А. Проблемы изучения карста и практика. М.: Мысль, 1972. 392 с.
9. Richthofen S. China, B. 1, 1877.
10. Fuller M. Z. Some unusual erosion features in loess of China.— Geol. Rev., 1922, October, p. 570.
11. Wang-Yong-jan, Zhang-Zong-hu. Loess in China. Shaanxi, 1980.
12. Решеткин М. М. О карстовых явлениях в лёссе.— Вестн. ирригации. 1929, № 10.
13. Лисицын К. И. О деформациях суглинистых грунтов Предкавказья в связи с вопросом об образовании степных блюдц.— Матер. Сев.-Кавк. геологоразвед. треста. Вып. 1. Новочеркасск, 1932. 19 с.
14. Клюкин А. А., Наумов Я. Н., Рудницкий Г. В. Суффозионные процессы и формы рельефа Горного Крыма.— Физ. геогр. и геоморф., 1980, вып. 20, с. 44.
15. Маматкулов М. М. Некоторые закономерности развития суффозионных процессов в лёссовых породах Средней Азии.— В кн.: Проблемы лёссовых пород в сейсмических районах. Тез. докл. Всес. совещ. Ташкент, 1980, с. 210.
16. Казаков К. Я. Суффозионные явления на Русской равнине и смежных территориях.— Изв. Всесоюз. геогр. о-ва, 1981, № 1, с. 44.
17. Schaidig A. Der Loss und seine geotechnische Eigenschaften. Dresden und Leipzig, 1934. 233 S.
18. Запороженко Э. В., Каганович Л. Ш. О соответствии прогноза просадочных деформаций данным натурных наблюдений.— Гидрот. и мелior., 1967, № 4, с. 8.
19. Короткевич Г. В. Соляной карст. Л.: Недра, 1970. 256 с.
20. Кочетов Н. И. Просадочные формы рельефа в Западном Предкавказье.— Геоморфология, 1978, № 4, с. 72.
21. Дроздов С. В. Поды междуречья Днепр — Молочная.— В кн.: Тр. I Укр. гидрогеол. совещ. Т. 2. Киев: Изд-во АН УССР, 1961, с. 36.

ПНИИИСГосстроя СССР

Поступила в редакцию
26.VI.1981

PSEUDOKARST IN LOESS

KRIGER N. I., ВОТНИКОВ В. И., LAVRUSEVICH S. A., MIRONYUK S. G., PETROV A. G.

Summary

Various forms of surficial and underground cavities in loess are described. Processes giving rise to such cavities are discussed as well as environmental and loess properties which are favourable to pseudokarst development. Importance of man-induced (technogenous) factors is evaluated.