

А.Г. КОСТЯЕВ

**ПРОБЛЕМА ГЕНЕЗИСА ПЕРИГЛЯЦИАЛЬНЫХ ЛЕССОВ В СВЕТЕ
ПРОИСХОЖДЕНИЯ ГРУНТОВЫХ КЛИНЬЕВ**

По мнению Л.С. Берга лёсс - продукт выветривания и почвообразования - имеет два аспекта: геологический, т.е. рассматривающий происхождение материнских пород лёссов, и диагенетический, рассматривающий приобретение этими породами лёссовидных признаков и свойств. Именно так ставил лёссовую проблему Л.С. Берг [1947], а за ним и многие другие исследователи.

Уже определение лёсса как породы позволяет правильно ориентироваться в вопросе о значимости каждой из ее вышеназванных сторон. Лёсс - это суглинок, супесь или легкая глина однородного состава с большим содержанием частиц диаметром от 0,05 до 0,01 мм, составляющих половину или более всей массы породы [Берг, 1947]. Но этот главнейший признак характеризует именно материнскую породу лёссов, так как в период облессования изменения механического состава весьма ограничены: глина - тяжелый суглинок, тяжелый - средний суглинок и т.д. [Морозов, 1961]. К подобному выводу подводят и такие геологические факты, как признаки слоистости, постепенный переход лёссов (в том числе «типичных») по глубине и по простиранию в нелёссовые породы (валунные и безвалунные суглинки, супеси, пески) и наличие переходных разностей к этим породам (валунный лёсс, слоистый лёсс и т.д.), изменение механического состава по элементам рельефа и т.д. [Берг, 1947]. Одновременно эти признаки и целый ряд других служат основанием для вывода о водном происхождении материнских, пород лёссов. Это положение разделяет большинство отечественных авторов [Берг, 1947; Герасимов, Марков, 1939]. Важнейшим его подтверждением является генезис грунтовых нарушений в лёссовых породах.

Проблема происхождения грунтовых клиньев древних перигляциальных областей Евразии обсуждается уже давно. В настоящее время абсолютное большинство исследователей придерживается взгляда о реликтивно-мерзлотной природе этих нарушений и связывает их с вытаиванием ледяных жил, в прошлом широко распространенных в перигляциальных областях материковых оледенений. Характерно в этой связи, что для подавляющей части зарубежных авторов термины «грунтовые жилы» и «ледяные клинья» - синонимы. Этот вывод полностью распространяется и на грунтовые тела, развитые в лёссовых породах или выполненные лёссовым материалом. Такую трактовку лёссовым клиньям в Европе одним из первых дал Зоргель [Soergel, 1936]. Как известно, Зоргель полагал, что ледяные жилы развивались в эоловом лёссе на некоторых этапах сингенетично с процессом эоловой седиментации. Следует, однако, заметить, что ветровая пыль и ледяные жилы - явления взаимоисключающие при всех условиях. Более поздние работы в нашей стране и за рубежом не внесли существенных изменений в эту оценку. Однако специальные исследования грунтовых жил в четвертичных отложениях Подмосковья и востока Большеземельской тундры, дополненные анализом целого ряда литературных источников, позволили автору прийти к выводу, что большая часть клиновидных нарушений в четвертичных отложениях, в том числе и в лёссовых породах, возникла в условиях текучего состояния грунтов в период осадконакопления и раннего диагенеза [Костяев, 1962; 1963]. Одновременно к аналогичным выводам в отношении многих клиновидных образований в шельфовых областях Евразии пришел А.И. Попов [1962]. Физическое исследование процессов конвективной неустойчивости в применении к реальным грунтам подтвердило возможность весьма широкого развития клинообразных

и другого вида деформаций в самых различных по литологии четвертичных и более древних породах [Артюшков, 1963; 1963а].

На рис. 1 показаны основные стадии развития неустойчивости в грунтах. Четко выраженные полигональные структуры, внешне сходные с псевдоморфозами ледяных жил, появляются здесь во второй стадии (см. рис. 1, б, г). Сравним характерные признаки последних и метаморфоз.

Конвективные грунтовые жилы могут иметь весьма разнообразную форму, в частности соизмеримые глубину и ширину, расширения в нижних частях и т.д. Их вертикальные размеры, зависящие только от мощности деформируемых слоев, не ограничены. Форма псевдоморфоз повторяет очертания узких удлиненных по вертикали ледяных клиньев, имеющих не менее 1 м в глубину по физическим причинам [Достовалов, 1952].

Соотношение между вертикальным размером клиньев и расстоянием между ними при конвекции достаточно строго координировано (если оно не нарушено процессами лавинного обрушения в подстилающих породах, например, в песках, распространяющихся на большую глубину), и, как правило, составляет от 1:2 до 1:5. В полигонах с ледяными жилами эти соотношения могут быть самыми различными.

При внедрении окружающая порода вытесняется в стороны и вверх и поэтому, как правило, не может попасть в грунтовую жилу и прежде всего в ее основание; контакт жилы с вмещающей породой - это граница раздела различных грунтов, обычно четкая и резкая, особенно в основании структур внедрения. Это, конечно, в первую очередь зависит от резкости литологических различий между самими слоями. При отсутствии таковых (что само по себе не является препятствием для развития неустойчивости, - см. [Артюшков, 1963; 1963а; Попов, 1962]) клиновидные формы, естественно, будут выражены весьма слабо (например, в однородных неслоистых лёссах и т.д.). В заполнении псевдоморфоз участвуют как верхняя, так и боковая породы, поэтому их контакты не могут быть резкими, особенно в основании, где скапливается переотложенная со стенок порода.

Вблизи конвективных клиньев слои отогнуты вниз (см. рис. 1, б) или вверх (см. рис. 1, г), что обусловлено закономерностями развития краевых и центральных проседаний. У ледяных жил слои ориентированы вверх, однако при вытаивании они опустятся вниз. Сохранение их первоначального положения без каких-либо нарушений невозможно.

При конвективных процессах вмещающая порода деформируется значительно глубже оснований грунтовых жил, а также между ними в полигоне (рис. 1, б, г), так как в движение вовлечена вся порода, и деформации затухают постепенно в стороны от границы раздела. Вытаивание ледяных жил затрагивает только ближайшую к ним часть слоев (наиболее сильно вверху и наименее внизу). Между жилами, а тем более под ними слои остаются горизонтальными.

Наконец, для развития конвективных процессов требуются весьма общие условия - разность объемных весов и достаточная подвижность пород, что в природе осуществляется весьма часто [Артюшков, 1963; 1963а]. Поэтому такие явления могли и могут развиваться в самых различных породах и на больших площадях. Ледяные жилы (и, следовательно, псевдоморфозы) ограничены в своем распространении определенными литолого-фациальными и геолого-геоморфологическими факторами, а именно: преимущественно тонкодисперсными с примесью органики грунтами на пониженных и достаточно увлажненных элементах рельефа [Попов, 1959].

Изначально грунтовые мерзлотные клинья представлены узкими трещинами [Паталеев, 1955]. Следует подчеркнуть, что структуры трещинного типа могут возникать также вследствие различных диагенетических процессов - усыхания, усадки, скалывания и др. Разработка критериев для различения мерзлотных и диагенетических трещин требует дальнейших исследований.

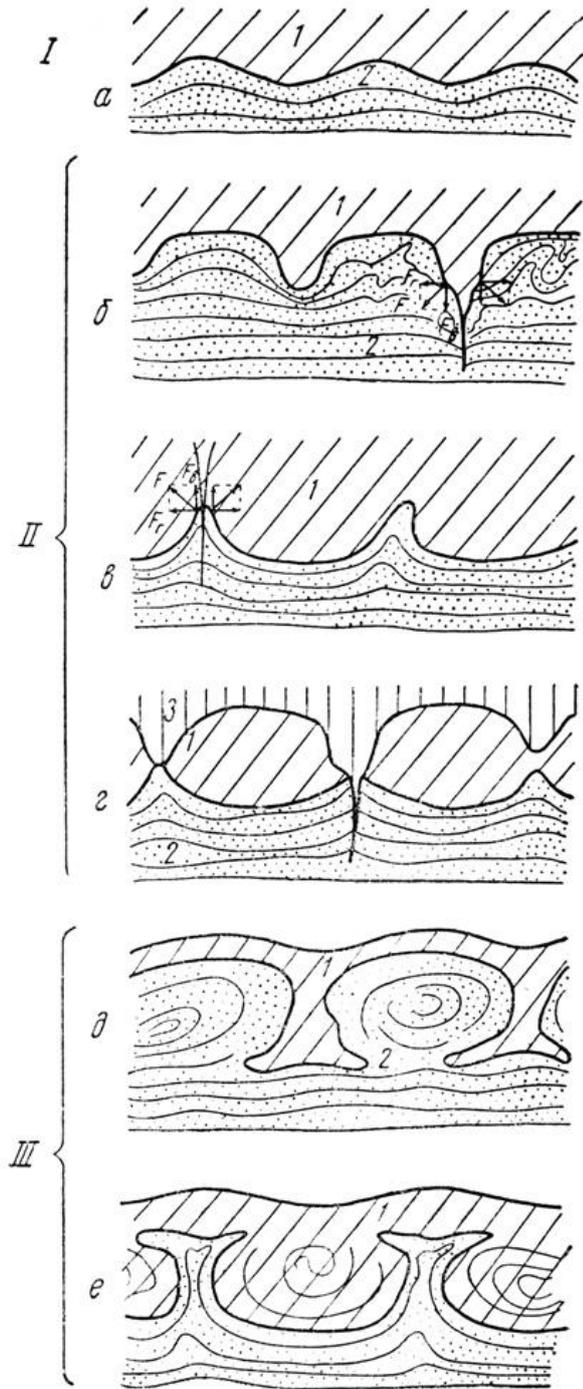


Рис. 1. Основные стадии развития конвективной неустойчивости в осадочных породах (по Артюшкову, [1, 2]):
a — начальное синусоидальное изгибание границы раздела без четко выраженной полигональности; *б* — краевые проседания (антиклинальные складки) при $v_{\text{верх}} > v_{\text{нижн}}$ (v — вязкость породы); *в* — центральные проседания (синклинальные складки) при $v_{\text{верх}} < v_{\text{нижн}}$; *г* — сочетание центральных (синклинальных) и краевых (антиклинальных) проседаний как результат развития центральных проседаний; *д* — образование

изолированных капель грунта в краевых проседаниях; *е* — то же в центральных проседаниях; 1 — верхняя тяжелая порода; 2 — нижняя легкая порода; 3 — нейтральная порода.
F — сила, действующая со стороны породы 1 на породу 2 (в случае «б») или в противоположном направлении (в случаях «в» и «г»); *F_v* — вертикальная составляющая силы; *F_г* — горизонтальная составляющая силы

Их отличия от конвективных структур достаточно ясны в свете вышеизложенного. Структуры, возникающие в другие стадии развития конвективной неустойчивости, резко отличаются от ледяных и грунтовых жил и других проявлений мерзлотных процессов, и вопрос о различении тех и других не возникает.

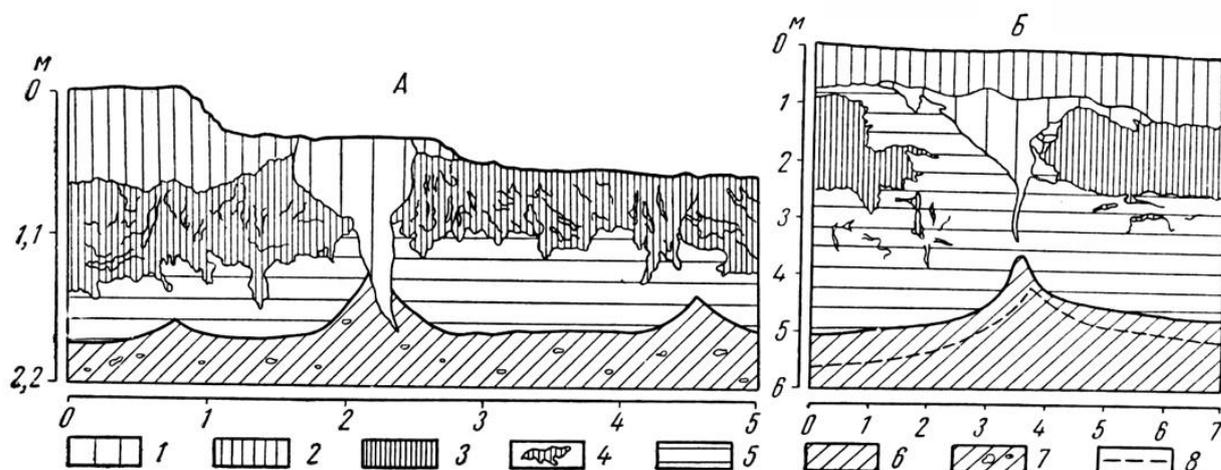


Рис. 2. Конвективные структуры в карьере Сидоровского кирпичного завода (водораздельная поверхность 175—180 м абс. высоты в 40 км к юго-востоку от Москвы): 1 — весьма однородный пылеватый палевоый суглинок (лесс); 2 — пылеватый, серо-палевоый суглинок, местами опесчаненный (покровный); 3 — песчано-пылеватый белесовато-серый суглинок, неоднородный по цвету и составу; 4 — хаотические линзы белесовато-серого суглинка; 5 — плотный опесчаненный лилово-темно-серый суглинок с единичным гравием (на рис. 2, а); 6 — плотный пластичный лилово-черный суглинок, внизу обогащенный органическим веществом (на рис. 2, б); 7 — плотный грубый зеленовато-бурый суглинок с редкими обломками известняка и кристаллических пород (морена); 8 — гумусированный горизонт

Рассмотрим некоторые клиновидные структуры в лёссовых породах.

Типичные клинья, выполненные чистым палевоым лёссом (частиц размером 0,1-0,005 мм — 80-90%), мы наблюдали в карьере Сидоровского кирпичного завода, расположенном на ровной, слегка наклонной водораздельной поверхности 175-180 м абс. высоты в 40 км к юго-востоку от Москвы (рис. 2, а, б). Четвертичные отложения, вскрытые здесь до глубины 6-7 м, внизу представлены красно-буром моренным валунным суглинком, верхняя часть которого отличается зеленовато- или голубовато-бурый цветов и почти не содержит крупных обломков. Выше по разрезу морена постепенно переходит в комплекс покровных пылеватых пород, на многих участках отделенных от нее горизонтом лилово-темно-серого довольно грубого суглинка (см. рис. 2, а). В местах пониженного залегания кровли красно-бурого суглинка оба промежуточных слоя по простиранию сменяются однородными осадками озерного типа (см. рис. 2, б).

Лёссовые клинья распространены на всей территории карьера, но наиболее показательными чертами с точки зрения происхождения обладают именно те структуры, которые приурочены к местам развития темно-серого и черного суглинков (см. рис. 2, а, б). Налицо все признаки конвективных образований - центральных проседаний во второй стадии неустойчивости (ср. рис. 1, з): а) форма клиньев; б) их четкая приуроченность к границам раздела пород; в) закономерные деформации слоев ниже оснований лёссовых клиньев (рис. 2, б); г) наличие нижних клиньев вне всякой связи с последними (рис. 2,а); строгая координация между размерами клиньев, полигонов и мощностью вовлеченных в движение слоев; д) мелкие хаотические деформации и крупные эллипсоидные тела [Костяев, 1962] между клиньяи и некоторые другие. Каждый из этих признаков в отдельности, тем более их совокупность, исключает мерзлотное происхождение структур.

Характерным для клиньев лёсса в морене является «подвешенное» (т.е. капельноизолированное) залегание в непосредственной близости от поверхности - чаще всего в 0,15-0,2 м [Soergel, 1936], что говорит о невозможности существования ледяных жил. Центральные проседания на границе между покровными суглинками и песками мы наблюдали к западу от Москвы (ст. Отрадное Белорусской ж.д.) и в других местах.

В более мощных, в том числе типичных, лёссах грунтовые жилы с характерными признаками центральных проседаний описаны в работах Зоргеля [Soergel, 1936], Зельцера [Selzer, 1936], Гальвица [Gallwitz, 1937], А.А. Величко [1961] и др.

Интересные нарушения типа центральных проседаний в лёссах района Геттингена описывает Зельцер [Selzer, 1936, рис. 3,4]. На рисунках хорошо видно, что клинья являются составной частью деформаций, явно указывающих на пластичное течение грунтов. Большинству структур в лёссах, исследованных Зоргелем [Soergel, 1936] в районе Веймара и Гальвицем [Gallwitz, 1937] в районе Дрездена, свойственны те же черты - направленные вверх слои вмещающих пород и полное отсутствие следов последних в клиньях. Псевдоморфозы ледяных жил в таких неустойчивых при влагонасыщении породах, как пылеватые суглинки, супеси и глины, не могут обладать подобными признаками. Помимо клиньев в лёссах Гальвиц исследовал также клинья на границе между лёссами и туронскими мергелями, обладающие такими бесспорными признаками конвективных образований, как подъем слоев к клиньям снизу. Отмечая крутой изгиб слоев вверх у одного из клиньев, Гальвиц пишет: «Примечательно, что поднятие слоев мергеля к лёссовому клину продолжается и в 70 см ниже его основания» [Gallwitz, 1937, стр. 616]. Присутствие северных валунов в верхней части мергелей и некоторые другие признаки заставляют с осторожностью относиться к генетической интерпретации и датировке этих отложений, предложенных автором. Гальвиц, указывая на то, что мергели даже в современных условиях быстро приобретают пластичную консистенцию, полагает, что валуны проникли в меловую породу при ее разжижении из базального горизонта лёсса. Возможно, что эти слои, связанные с лёссами постепенными переходами, имеют четвертичный возраст и относятся к этапу, непосредственно предшествовавшему лёссонакоплению. Во всяком случае, оба варианта не ставят под сомнение наших выводов о конвективной природе описываемых Гальвицем клиньев.

Не менее часто лёссовые клинья образуют полигональные системы краевых проседаний. Например, из данных, приведенных в работе Зоргеля (Soergel, 1936, рис. 9), следует, что структуры в районе Веймара представляют собой клиновидные изгибы границы раздела между слоем покровного лёссовидного суглинка и гравийно-глинистой породой. Уже размер жил по вертикали - 0,7-0,9 м - противоречит их мерзлотному происхождению. Обратный уклон стенок грунтовых жил исключает возможность заполнения полостей сверху при вытаивании льда, а непосредственное соседство вертикальных и сильно наклонных клиньев - солифлюкцию в ее обычном понимании. Фактом, имеющим силу безусловного доказательства конвективной природы нарушений, является закономерное прогибание подошвы слоя гравия ниже оснований лёссовых клиньев и поднятие ее между ними в полигонах. Зоргель отмечает эту закономерность, но связывает ее с образованием ледяных жил.

Сильное разжижение пород может привести к появлению самых разнообразных форм грунтовых жил - краевых проседаний, а также к резко выраженной асимметрии в их строении. Последняя обычно бывает вызвана наличием горизонтальной составляющей движения из-за уклона поверхности. В той части разреза, куда оттекает порода, вытесняемая клином, компенсационный эффект выражается сложными деформациями и взаимопроникновениями пород. Одной из их разновидностей являются своеобразные пережимы в верхних частях грунтовых жил - так называемые «уши», столь характерные для клиновидных тел в четвертичных отложениях, особенно в лёссовых породах.

Помимо структур, имеющих известное сходство с мерзлотными клиньями, в лёссовых породах очень широко распространены мелкие (в среднем 0,2-0,5 м по

вертикали) складки синусоидального, синклинального и антиклинального видов (см. рис. 1 а, б, в). Они, по существу, не имеют аналогов среди современных мерзлотных явлений, однако в литературе неизменно фигурируют под названием «криотурбации» криогенные «инволюции», «следы конгelifлюкции» и т.п. Особенно часто такие нарушения наблюдаются на контакте лёсса с гумусированными горизонтами, а также между другими литологическими разностями лёссовых толщ. Весьма распространены деформации хаотического вида с образованием завихрений («котлов кипения»), обособленных капель и т.д. Никаких принципиальных различий с вышеописанными структурами нет, разница лишь в размерах форм и более интенсивном течении пород в мелких слоях.

Таким образом, конвективная природа многочисленных нарушений в лёссовых породах, в том числе и в так называемых типичных лёссах, позволяет с уверенностью говорить о их водном происхождении. Целый ряд геологических данных (участие в деформациях подстилающих пород, ярусное расположение деформации в разрезах и др.) свидетельствует о том, что нарушения относятся ко времени осадконакопления и раннего диагенеза. На этой стадии породы обладают достаточной подвижностью - малой величиной условного предела текучести $\tau_{кр}$ [Артюшков, 1963; 1963а]. Разжиженное состояние моренных валунных суглинков в этот период очевидно и подтверждается прямыми данными [Okko, 1955]. В не меньшей степени оно должно быть свойственно озерно-ледниковым суглинкам и глинам, тесно связанным с лёссами. Песок, особенно тонких формаций, и грубоскелетный грунт с суглинистым или песчаным заполнителем также могут проявлять текучие свойства в стадии раннего диагенеза. Что же касается самих лёссов, этих «истинных плывунов» [Горькова и др., 1963], то развитие в них конвективных процессов в раннедиагенетическую стадию практически неизбежно.

Одновременно необходимо подчеркнуть, что вопрос о присутствии в лёссовых породах древних перигляциальных областей нарушений мерзлотного типа, прежде всего псевдоморфоз ледяных жил, в настоящее время остается открытым. По всей вероятности, мерзлотные явления были связаны лишь с процессами в деятельном слое и имели весьма ограниченное распространение.

Лёссовые породы, являющиеся верхним завершающим членом четвертичного разреза водоразделов, тесно связаны с этапом отступления древнего ледникового покрова и поэтому являются истинно перигляциальными отложениями. В силу этого перигляциальными оказываются и конвективные и другие диагенетические структуры, заключенные в этих породах. Однако в противоположность ранее выделявшемуся субаэральному климатическому перигляциалу, апеллировавшему главным образом к формам нарушений в лёссовых и других породах, следует говорить о преимущественно субаквальном осадочно-динамическом перигляциале, объединяя этим термином и структуры и вмещающие их отложения.

Наиболее перспективной основой для объяснения условий накопления перигляциальных лёссов нам представляется положение, высказанное в общей форме И.П. Герасимовым и М.М. Шукевич [1939] о взаимосвязанном образовании валунных суглинков и покровных пылеватых пород в процессе гравитационной дифференциации вытаявающего из ледника материала. Такой подход имеет очевидные преимущества перед другими точками зрения, ибо: а) представляет динамику образования обеих пород как единый процесс, из чего следует их генетическое единство, подтверждаемое рядом неоспоримых геологических данных; б) объясняет характерные гранулометрические и минералогические особенности каждого горизонта (в частности, обогащенность тонкими фракциями и легкими минералами верхнего пылеватого слоя), а также постепенные переходы одной породы в другую; в) утверждает пылеватые лёссовые породы как фацию отстаивания (т.е. вертикального осаждения) в противоположность фациям потоков или безрусельных разливов, весьма проблематичных с различных точек зрения.

Исходя из факта покровного залегания лёссов, можно полагать, что гравитационная дифференциация, приведшая к образованию столь совершенно сепарированных и пространственно выдержанных горизонтов лёссовых пород, имела место в условиях обширных бассейнов, перекрывавших древние водоразделы. Это позволяет говорить о лёссовой воднобассейновой перигляциальной формации, включающей в себя собственно перигляциальную лёссовую фацию южной периферии перигляциальной зоны Западной Европы и Русской равнины и относительно маломощные покровные лёссовидные породы северных гляциальных областей, связанные друг с другом постепенными переходами [Берг, 1947]. Вопрос же о конкретной геологической обстановке формирования лёссов еще ждет своего разрешения. Особенно важное значение в этой связи будет иметь выяснение роли колебательных и гляциоизостатических движений земной коры в пределах областей древних материковых оледенений и связанных с ними территорий.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Артюшков Е.В.* О возможности возникновения и общих закономерностях развития конвективной неустойчивости в осадочных породах // Доклады АН СССР. 1963. Т. 153. №1.
2. *Артюшков Е.В.* Основные формы конвективных структур в осадочных породах // Доклады АН СССР. 1963. Т. 153. № 2.
3. *Берг Л.С.* Лесс как продукт выветривания и почвообразования. В кн.: «Климат и жизнь». М., Изд-во АН СССР, 1947.
4. *Величко А.А.* Рельеф и стратиграфия четвертичных отложений. В кн.: «Рельеф и стратиграфия четвертичных отложений северо-запада Русской равнины». М., Изд-во АН СССР, 1961.
5. *Герасимов И.П., Марков К.К.* Четвертичная геология. М., Учпедгиз, 1939.
6. *Герасимов И.П., Шукевич М.М.* Петрографический состав некоторых типов почвообразующих наносов СССР // Проблемы советского почвоведения. 1939. Сб. 8.
7. *Горькова И.М., Душкина Н.А., Окнина Н.А., Рябичева К.Н., Чепик В.Ф.* Природа пльвинности послеледниковых морских глин Прибалтийской низменности КАССР. В кн.: «Формирование инженерно-геологических свойств глинистых пород в процессе литогенеза». М., Изд-во АН СССР, 1963.
8. *Достовалов Б.Н.* О физических условиях образования морозобойных трещин и развитии трещинных льдов в рыхлых мерзлых породах. В кн.: «Исследование вечной мерзлоты в Якутской республике», вып. III. М., Изд-во АН СССР, 1952.
9. *Костяев А.Г.* К вопросу о происхождении клиновидных тел в четвертичных отложениях // Вестник МГУ. Сер. геол., 1962. № 4.
10. *Костяев А.Г.* Отложения покровного комплекса и блочный рельеф восточной части Большеземельской тундры. В кн.: «Кайнозойский покров Большеземельской тундры». Изд-во МГУ, 1963.
11. *Морозов С.С.* К вопросу облессования дисперсных пород четвертичного возраста под влиянием степного типа почвообразования. В кн.: «Материалы Всес. совещ. по изучению четвертичн. периода», вып. 1. М., Изд-во АН СССР, 1961.
12. *Паталеев А.В.* Морозобойные трещины в грунтах // Природа. 1955. № 12.
13. *Попов А.И.* Перигляциальные и другие зональные мерзлотные явления (современные и древние) // Вестник МГУ. Сер. биол., почв., геол., геогр., 1959. № 2.
14. *Попов А.И.* О псевдомерзлотных образованиях // Вестник МГУ. Сер. геогр. 1962. № 3.
15. *Шукевич М.М.* Минералогический состав некоторых типов ледниковых отложений европейской части СССР и его изменение в процессах переотложения и почвообразования // Труды Почв. ин-та АН СССР. 1948. Т. XXVIII.

16. *Gallwitz H.* Fließerde und Frostspalten als Zeitmarken im Loss bei Dresden // Geol. Rundschau. 1937, Bd. 28, Hft. 8.

17. *Okko V.* Glacial drift in Iceland, its origin and morphology // Bull. de la Comm. Geol. de Finlande, 1955, N 170.

18. *Selzer G.* Diluviaie Losskeile und Losskeilnetze aus der Umgebung Gottingens // Geol. Rundschau, 1936, Bd. 27, Hft. 3.

19. *Soergel W.* Diluviaie Eiskeile // Zeitschrift d. Deutsch. Geol. Gesellschaft. 1936, Bd. 88, Hft. 3.

Кафедра полярных стран и гляциологии

Поступила в редакцию
15.VII. 1964

Ссылка на статью:



***Костяев А.Г.* Проблема генезиса перигляциальных лессов в свете происхождения грунтовых клиньев // Вестник МГУ. Сер. География. 1965. Вып. 5. С. 33-40.**