

# ГЕНЕЗИС ПРОСАДОЧНОСТИ ЛЕССОВЫХ ПОРОД: СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАЧИ, ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ВЗГЛЯДОВ, ВКЛАД Н.И. КРИГЕРА, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

## GENESIS OF THE SUBSIDENCE ABILITY OF LOESS SOILS: CONTENT OF THE PROBLEM, HISTORY OF THE DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC VIEWS, N.I. KRIGER'S CONTRIBUTION, PRESENT STATE OF THE PROBLEM



<http://junior3d.ru/texture/pesok.html>

### ТРОФИМОВ В.Т.

Заведующий кафедрой инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, д. г.-м. н., профессор, Москва, [trofimov@rector.msu.ru](mailto:trofimov@rector.msu.ru)

### TROFIMOV V.T.

Head of the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, DSc (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), professor, Moscow, [trofimov@rector.msu.ru](mailto:trofimov@rector.msu.ru)

### Ключевые слова:

лессовые породы; просадочность; история изучения генезиса просадочности; постулированные механизмы возникновения просадочности; общая теория формирования просадочности.

### Key words:

loess (loess soils); subsidence ability; investigation history of the genesis of loess subsidence ability; postulated mechanisms of subsidence ability formation; general theory of subsidence ability formation.

### Аннотация

В статье охарактеризованы терминологические и содержательные основы постановки вопроса, этапы изучения генезиса просадочности лессовых пород, предложенные гипотезы и механизмы формирования этого свойства, вклад Н.И. Кригера в разработку данного вопроса. Перечислены частные теории формирования указанного свойства и их ограничения в объяснении распределения просадочности по разрезу лессовой толщи. Рассмотрены исходная позиция общей теории формирования просадочности лессовых пород, ее основные положения, важнейшие составляющие и практическое значение.

### Abstract

This paper characterizes the terminological and content basics of the problem, stages of investigation of the genesis of loess subsidence ability, offered hypotheses and formation mechanisms of this property, as well as N.I. Kriger's contribution into the development of this problem. The author lists particular theories of the formation of the mentioned property, and their restrictions in explanation of cross-sectional distribution of subsidence ability in loess strata. He considers the initial position of the general theory of the subsidence ability formation of loess soils, its main principles, major components, and practical importance.

### Терминологические и содержательные основы постановки задачи

*Просадочность лессовых пород* выражается в их способности под действующей нагрузкой (от собственного веса толщи или дополнительной нагрузки от сооружения) при увлажнении (замачивании) уменьшать свой объем, то есть дополнительно уплотняться. Процесс реализации этого свойства, который, как правило,

развивается во времени с большой скоростью, получил название *просадочного процесса*, или *просадки*, а обладающие этим свойством горные породы называются *просадочными*.

Под *генезисом лессовых пород (лессов)* было предложено понимать, как это принято в геологической теории и практике, способ формирования пылеватых (лессовых) отложений (и образований, например элювиаль-

ных), в первую очередь определяемый способом накопления *первоначального пылеватого осадка*. **Генезис просадочности лессовых пород (лессов)** — это способ формирования просадочности пород в ходе прогрессивного или регрессивного литогенеза. Первое из этих понятий является общегеологическим, второе — сугубо инженерно-геологическим.

**Формирование просадочности** — геологический процесс. Он протекает неодинаково в разных геологических условиях и обязательно включает несколько этапов:

- 1) накопление элементарного слоя пылеватого осадка (в разных климатических обстановках и под влиянием разных генетических факторов);
- 2) преобразование осадка этого слоя в ходе раннего субаэрального диагенеза в просадочную (а) или непросадочную (б) породу;
- 3) последовательное накопление налегающих друг на друга элементарных слоев просадочных пород и образование толщи просадочных лессовых пород (а) или накопление толщи непросадочных пород и их дальнейшее преобразование в субаэральных условиях в просадочные в ходе прогрессивного или регрессивного (гипергенных изменений) литогенеза (б), иных природных (в) и техногенных (г) процессов;
- 4) консервация просадочности и сохранение толщ просадочных лессовых пород в течение геологического или хотя бы исторического времени.

Эти этапы являются частями единого геологического процесса, приводящего к формированию просадочных пород элементарного слоя, а затем и толщи лессовых пород. По существу, главный итог этого процесса — образование толщ (массивов) просадочных маловлажных высокопористых пылеватых пород со специфическим глобулярным микростроением и наличием контактов цементационного и переходного типов; при этом просадочность может сформироваться на разных этапах жизни породы. Отсюда следует вывод, что просадочность лессовых пород по отношению ко времени формирования толщ может быть разновременной, то есть как сингенетической, так и эпигенетической в общегеологическом понимании [22, 24].

Первый тип просадочности — **сингенетический** — формируется вследствие образования маловлажных высокопористых недоуплотненных пылеватых пород элементарного слоя в ходе седиментации и раннего субаэрального диагенеза в аридных условиях и слоев в толще при прогрессивном осадкообразовании (при постепенном повышении кровли накапливающейся толщи). Просадочность и в этом случае является, с точки зрения автора, сингенетическим свойством по отношению ко времени образования и каждого элементарного слоя лессовых пород, и их толщи в целом.

**Эпигенетическая** просадочность лессовых пород формируется совершенно по-иному. Главные отличия от формирования сингенетической просадочности в данном случае таковы:

- 1) лессовые породы образуются в ходе прогрессивного или регрессивного субаэрального литогенеза массива *уже существующих горных пород* (а не свежеотложенных осадков);
- 2) формирование просадочности этого типа происходит *при относительной стационарности поверхности данного геоморфологического элемента или даже при его денудации*.

## Из истории изучения генезиса просадочности лессовых пород

### Направления и этапы изучения

В истории изучения генезиса просадочности лессовых пород четко обособляются два направления и три этапа исследований. Эти два направления, по существу, не привязаны к какому-либо одному этапу и в этом плане являются «сквозными» [21, 25].

Исследователи *первого направления* (А.В. Минервин, Е.М. Сергеев и др.) связывали формирование просадочности с определенными по генезису пылеватыми отложениями (такими как просадочный лесс — эоловые отложения, просадочный лесс — элювиальная порода и т.п.).

Представители *второго направления* (В.П. Ананьев, Б.Ф. Галай, Н.Я. Денисов, В.И. Короткий, Н.И. Кригер, Г.А. Мавлянов, А.В. Минервин, В.Т. Трофимов и др.) убедительно показали, что просадочными могут быть отложения разного генезиса. Учитывая такие глубокие различия в этой сфере, автор в 1980 году [22] сформулировал четкое понимание терминов «генезис лессовых пород» и «генезис просадочности лессовых пород» (см. выше).

*Первый этап* изучения генезиса просадочности лессовых пород охватывает период 40–60-х годов XX века. Главный его итог — формулирование серии гипотез о происхождении этого свойства лессов (хотя из них ряд гипотез, связанных с проявлениями криогенных процессов, был выдвинут существенно позднее — в 1980–1990-х годах). Среди них — гипотезы Н.Я. Денисова [1, 3], А.В. Минервина [11, 13], а также А.В. Минервина и Е.М. Сергеева [14]. Механизмы формирования просадочности лессовых пород в соответствии с этими гипотезами принципиально различны и специально рассмотрены автором в работах [17–21, 23–25].

*Второй этап* охватывает 70-е — начало 90-х годов прошлого века. Главная его особенность — проведение обширного комплекса лабораторных и полевых (в массиве) исследований формирования просадочности лессовых пород. Эти работы были осуществлены Т.Г. Алексеенко, Т.В. Андреевой, В.С. Бондаренко, Д.В. Бородулиной, А.С. Ветровым, А.М. Ворониным, Б.Ф. Галаем, М.Р. Горским, О.Н. Ереминой, А.В. Ершовой, Э.В. Кадыровым, Н.В. Коломийцевым, Н.Н. Комиссаровой, В.А. Королевым, Е.Ю. Куликовой, Н.Г. Мавляновым, Н.Х. Тимирясовой, В.Т. Трофимовым, М.И. Яковлевым. Полученные ими данные позволили оценить работоспособность старых и новых гипотез и вплотную приблизиться к созданию экспериментально подтвержденных представлений о происхождении просадочности лессовых пород. Итоги этого этапа были суммированы автором в 1999 году в монографии «Генезис просадочности лессовых пород» [19].

*Третий этап* характеризуется теоретическим обобщением накопленных данных, разработкой частных теорий формирования просадочности лессовых пород разных генетических типов (эоловых, пролювиальных, аллювиальных и др.) и общей теории формирования просадочности лессовых пород. Определенные итоги этой работы изложены автором в монографии «Теория формирования просадочности лессовых пород» [25]. Принципиально иной подход к решению проблемы генезиса просадочности был изложен в книге Ю.Б. Текучева и Л.И. Бондаревой «Происхождение лессовых пород и их просадочности» [16].

### **Гипотезы о механизмах формирования просадочности лессовых пород**

Если лессовые отложения (осадки и породы) разного генезиса, занимающие разное геоморфологическое положение, приобретают одно и то же специфическое свойство — просадочность, то у инженеров-геологов, естественно, возникают вопросы. Каков же процесс (процессы), путь (пути) формирования этого свойства? Одинаков ли он или различен в геологическом и физико-механическом плане у отложений разного генезиса?

Одним из первых предпринял попытку решить эти вопросы Н.Я. Денисов [1–3]. В своих работах он выдвинул гипотезу и, исходя из нее, создал логико-графические модели формирования просадочности лессовых пород эолового, делювиального, пролювиального и аллювиального генезиса. Важно подчеркнуть, что в первых трех случаях Денисов рассматривал формирование просадочности в ходе осадконакопления и раннедиагенетических преобразований эолового, делювиального и пролювиального осадка, то есть в ходе прогрессивного литогенеза на этапе преобразования осадка в слабоувлажненную просадочную породу. Анализируя же процесс применительно к аллювиальным отложениям, Н.Я. Денисов обсуждал преобразование уже сформировавшейся сильноувлажненной породы в слабоувлажненную просадочную породу.

Если исходить из содержания ранее приведенного понятия «генезис просадочности лессовых пород», то легко прийти к выводу, что Н.Я. Денисов гипотетически рассматривал принципиально различные пути формирования просадочности у пылеватых отложений разного генезиса. При этом сам Денисов не использовал понятие «генезис просадочности лессовых пород».

Позже были предложены новые гипотезы (А.М. Ворониным и А.А. Коноваловым [4], А.В. Минервиным [12] и другими исследователями), в которых постулировались иные пути формирования просадочности лессовых пород. Почти во всех них рассматривался процесс преобразования непросадочной породы в просадочную.

Анализ всех этих гипотез, а также появившихся экспериментальных данных показал, что по условиям формирования просадочность лессовых пород может быть принципиально различной. *Первый ее тип* формируется у отложений разного генезиса непосредственно в ходе накопления и раннего субаэрального диагенеза элементарных слоев и толщ пылеватых осадков в аридных условиях. *Второй генетический тип просадочности* связан с приобретением лессовыми породами этого свойства уже после завершения осадконакопления и превращения пылеватого осадка первоначально в непросадочную породу в ходе дальнейшего развития прогрессивного или регрессивного литогенеза, преобразования толщ эпикриогенных пород в специфических условиях или под влиянием техногенных процессов. Первому из этих типов просадочности автор [22, 24] дал название «*просадочность как сингенетическое свойство лессовых пород*», второму — «*просадочность как эпигенетическое свойство лессовых пород*». Позже стали использоваться термины «*сингенетическая просадочность*» и «*эпигенетическая просадочность*».

Общая систематика механизмов формирования просадочности лессовых пород, рассмотренных к настоя-

щему времени в литературе, приведена в таблице. Эти механизмы, названия которым даны автором исходя из их содержания, привязаны к генетическим типам лессовых пород, в которых они могут реализоваться, а цифрами обозначены генетические типы просадочности, которые формируются при развитии этих механизмов.

Следует подчеркнуть, что с точки зрения принципиального пути формирования высокой пористости все механизмы, естественно, подразделяются на *два класса* — *недоуплотнительных и разуплотнительных*. Первые реализуются в ходе в основном прогрессивного литогенеза, вторые — только в процессе развития регрессивного литогенеза. В этом плане отнесение *криосингенетическо-сублимационного механизма* ко второму классу явно условно — оно рационально лишь с точки зрения развития промерзания и сублимационной дегидратации мерзлой породы в ходе реализации этого механизма (а также в отношении удобства построения таблицы), поскольку разуплотнение терригенной составляющей грунта идет в ходе прогрессивного криолитогенеза. Теоретически более строгим было бы отнесение данного механизма к классу недоуплотнительных, так как высокая пористость и, как следствие, первичная недоуплотненность пород по отношению к действующей нагрузке (их весу) формируется непосредственно в ходе накопления и сингенетического промерзания осадков, выступающего в качестве диагенетического процесса. Если принять такую точку зрения, то этот механизм следует называть *криосингенетическо-недоуплотнительно-сублимационным*.

### **О вкладе Н.И. Кригера в разработку вопроса «генезис просадочности лессовых пород»**

Н.И. Кригер, столетие которого отмечалось в 2015 году, внес огромный вклад в изучение лессовых пород, в том числе опубликовал книгу «Лесс. Формирование просадочных свойств» [6]. Внимательное целенаправленное изучение публикаций показало, что в подавляющей части своих работ, посвященных лессовой тематике, даже в наиболее знаменитой книге «Лесс, его свойства и связь с географической средой» [5], Н.И. Кригер касался вопроса о генезисе просадочности лессовых пород, но глубоко не рассматривал его. Он лично или в соавторстве с коллегами описывал условия залегания, состав лессов, их строение, свойства, включая просадочность и зональность ее пространственного распределения, энергетику, особые случаи просадочных свойств пород. Пожалуй, рассматриваемому вопросу было уделено прямое внимание в статьях [7–9 и др.] и в монографиях [6, 10]. Однако и в этих работах рассмотрение такого геологического процесса, как возникновение просадочности, заняло очень малое место.

В своих взглядах Н.И. Кригер целиком опирался на идеи Н.Я. Денисова [1–3], который вербально и графически описал формирование недоуплотненности пылеватых суглинистых осадков разного генезиса в процессе их раннего диагенетического преобразования в субаэральных условиях, которые при последующем замачивании проявляют просадочные свойства<sup>1</sup>. В доказательство можно привести следующую цитату: «*В соответствии с принципом Денисова надо думать, что просадочность может быть свойственна породам различ-*

<sup>1</sup> Н.И. Кригер еще в 1962 году назвал эти построения принципом Денисова.

Таблица

| Систематика существующих механизмов формирования просадочности лессовых пород (по В.Т. Трофимову [19]) |  |  |                                   |  |
|--|--|--|-----------------------------------|--|
| Механизм формирования просадочности  |  |  | Автор(ы), год                     | Генетические типы пылеватых отложений, в которых данный механизм реализуется |
| Класс  | Группа                                     | Вид  |                                   |  |
| Недоуплотнительные   | Недоуплотнительные                         | Гидратационно-дегидратационно-недоуплотнительный                         | Н.Я. Денисов, 1946                | Эоловые*   |
|  |  | Дегидратационно-недоуплотнительный                                       | Н.Я. Денисов, 1946                | Проловиальные, делювиальные*   |
|  |  | Дегидратационно-доуплотнительный (последегидратационно-доуплотнительный) | Н.Я. Денисов, 1946                | Алловиальные**   |
| Разуплотнительные  | Гипергенно-разуплотнительные               | Гипергенно-дегидратационно-разуплотнительный                             | А.В. Минервин, 1959               | Разные**   |
|  |  | Криозловиально-дегидратационно-разуплотнительный                         | А.В. Минервин, Е.М. Сергеев, 1964 | Разные**   |
|  | Криогенно-разуплотнительные сублимационные | Криосингенетическо-сублимационный  | А.В. Минервин, 1982               | Сингенетически промерзшие отложения любого генезиса                          |
|  |  | Криоэпигенетическо-сублимационный  | А.В. Минервин, 1982               | Эпигенетически промерзшие отложения любого генезиса                          |
|  | Газогидратный                              | А.В. Коновалов, 1997   | Разные**                          |  |

\* При реализации данного механизма в этих отложениях формируется сингенетическая просадочность (в понимании В.Т. Трофимова).  
 \*\* При реализации данного механизма в этих отложениях формируется эпигенетическая просадочность (в понимании В.Т. Трофимова).

ного происхождения. По мнению Н.Я. Денисова и автора, степень просадочности породы контролируется средой, окружающей породу как во время ее погребения более молодыми отложениями (когда в породе создается напряженное состояние), так и в более позднее время.

Просадочность лессовых и других пород свойственна определенной географической зоне. В пределах этой зоны происходит формирование пород различного генетического типа. В согласии с принципом Денисова любая из этих пород может оказаться в недоуплотненном состоянии, если будет погребена под более молодыми отложениями в условиях аридной (семиаридной) обстановки и при глубоком положении уровня грунтовых вод» [6, с. 44–45].

Иные взгляды на процесс формирования просадочности Н.И. Кригер не признавал. В частности, он чрезвычайно критически относился к работам, в которых описывались экспериментальные данные о влиянии криогенеза, да и гипергенеза на формирование просадочности [5, 6].

Новые предложения, геологически развивающие даже построения Н.Я. Денисова, Н.И. Кригер также воспринимал не всегда. В частности, в одном из своих публичных выступлений он поставил под сомнение возможность формирования сингенетической просадочности. Это заставило автора настоящей статьи еще раз вернуться к обсуждению данного вопроса [24] исходя из понимания терминов «сингенез», «сингенетический», «эпигенетический» в геологических науках, прежде всего в литологии и криолитологии, где они ис-

пользуются наиболее широко. Да и сам Н.И. Кригер описал процесс формирования этого вида просадочности: «В соответствии с принципом Денисова необходимо допустить, что просадочные свойства лесса образуются при возрастании мощности отложений в условиях затрудненности их уплотнения. Эти условия наблюдаются при засушливых климатических условиях. Возникающие при этом связи между зернами породы являются водонепостоячивыми, и первоначально образовавшаяся при седиментации повышенная (ввиду отсутствия пригрузки) пористость породы сохраняется, несмотря на последующее возрастание давления вышележащих отложений. Возникает состояние 2-го метастабильного равновесия, которое может быть нарушено при увлажнении породы и ослаблении прочности водонепостоячивых связей. В этом состоит природа просадок. Просадочные свойства породы должны быть географически зональными, так как зональными являются засушливый климат и водонепостоячивые структурные связи.

Сохранению просадочных свойств лессовых пород в засушливых районах способствует наличие мертвого горизонта Г.Н. Высоцкого [36]. Как известно, этот горизонт характеризуется сезонно практически не изменяющейся низкой влажностью.

Ввиду наблюдаемого постоянства влажности лессовых пород в мертвом горизонте мы будем рассматривать последний как закрытую термодинамическую систему, которая не имеет массообмена с окружающей средой. Но закрытая система может иметь обмен энергией со средой» [6, с. 72].

Рассматривая происхождение просадочности лессовых пород, Н.И. Кригер писал, что она *сильно зависит от природного давления и поэтому всегда является постгенетическим свойством толщи (породы в толще)*. В этом очень важном мнении Кригера, по существу, содержатся два совершенно разных, но очень важных вопроса — о *генезисе просадочности* как специфического свойства лессов и о *формировании величины просадочности этих пород*.

На первый взгляд это может показаться парадоксальным. Но такая постановка вопроса правомерна. Рассмотрим вопрос о *формировании величины просадочности, которая фиксируется исследователем в современных условиях*. Н.И. Кригер, говоря о том, что ее численное значение зависит от величины нагрузки, передаваемой на лессовый грунт в момент замачивания (природная нагрузка — частный случай этой ситуации), прав. И в этом предложении, по существу, заложен ответ на поставленный ранее вопрос: величина просадочности лессовых пород является их постгенетическим свойством, поскольку *современная нагрузка, как правило, не связана напрямую с сингенетическими процессами (в рассмотренном их понимании)*. Таким образом, сама просадочность может быть и син-, и эпигенетическим свойством, а ее величина является только эпигенетической. Нет ли тут противоречия?

Просадочность пород элементарного слоя в качестве сингенетического свойства формируется, как показано ранее, в ходе осадконакопления и раннего диагенеза в субаэральных условиях. Именно на этом этапе возникает специфическая недоуплотненная структура мало-влажных лессовых грунтов. И главное тут — это *наличие просадочности как особого свойства*. С точки зрения природы этого свойства неважно, какова величина характеризующего его показателя (по существу, тут нужен ответ «да» или «нет», но не ответ на вопрос «Сколько?»). Неважно, при какой нагрузке — природной или дополнительной — проявляется рассматриваемое свойство лессовых грунтов. Главное — это то, что оно *сформировалось в ходе литогенеза пылеватых осадков различного происхождения*.

В процессе геологического развития такие просадочные породы элементарного слоя (и формируемой ими толщи) могут быть захоронены под новообразованными отложениями. И если просадочные свойства, сингенетические по своей природе, будут законсервированы, то по мере роста веса вышележащих пород величина потенциальной просадочности будет прогрессивно возрастать. Ее значение никак не связано с эпохой формирования специфической структуры лессовых пород, и поэтому данное явление — безусловно, постгенетическое.

Особенно четко эпигенетичность величины просадочности проявляется в циклически построенных толщах, в которых возраст слоя (толщи) с сингенетической просадочностью (например, нижнего или второго циклита) совершенно не связан с современным весом перекрывающих отложений (например, трех залегающих выше и позже образовавшихся циклитов). Однако именно вес этих отложений определяет современную степень просадочности пород указанного слоя (толщи).

Столь же очевидна эпигенетичность величины просадочности лессовых пород, которая проявляется только при действии дополнительной нагрузки. И уже совсем однозначна такая интерпретация этой величины для

всех разрезов лессовых пород, просадочность которых сформировалась как эпигенетическое свойство.

### **Современное состояние вопроса «генезис просадочности лессовых пород»**

К настоящему времени разработаны четыре частных и одна общая теория формирования просадочности лессовых пород [21, 24, 25].

#### **О частных теориях формирования просадочности лессовых пород**

К категории частных относятся теории:

- 1) формирования просадочности лессовых пород эолового генезиса;
- 2) формирования просадочности лессовых пород пролювиального и делювиального генезиса;
- 3) формирования просадочности лессовых пород аллювиального генезиса;
- 4) формирования просадочности лессовых пород разного генезиса при реализации гипергенно-дегидратационно-разуплотнительного механизма.

Исходной идеей для разработки первых трех теорий явилась гипотеза Н.Я. Денисова [1–3], для разработки четвертой — гипотеза А.В. Минервина [11, 13].

В структуре каждой из названных теорий описаны следующие составляющие:

- распространенность и характеристика лессовых пород данного генетического типа (данных генетических типов);
- исходная теоретическая основа;
- экспериментальные доказательства работоспособности данного механизма формирования просадочности лессовых пород;
- логико-графические модели формирования просадочности лессовых пород данного генетического типа (данных генетических типов);
- основные теоретические следствия-утверждения доказываемого построения о формировании просадочности лессовых пород данного генетического типа (данных генетических типов);
- область применения и ограничения теории формирования просадочности лессовых пород данного генетического типа (данных генетических типов).

Не имея возможности в рамках настоящей статьи охарактеризовать эти составляющие, отошло заинтересованных читателей к работам [19, 21, 23, 25].

*Каждая из четырех названных выше частных теорий имеет ограничения*. Это доказано в работах [21, 25]. Приведем здесь лишь три конкретных примера.

1. Классическим примером такой ситуации являются аллювиальные лессовые породы, венчающие разрез аллювия надпойменных террас, которые проявляют просадочные свойства не только при дополнительных нагрузках, но и при действии природной нагрузки. Это не может быть объяснено развитием только одного последегидратационно-доуплотнительного механизма, и оно не согласуется с основными положениями частной теории формирования просадочности лессовых пород аллювиального генезиса.

2. В разрезах многих мощных циклически построенных толщ лессовых пород эолового и пролювиального генезиса величина просадочности лессов, залегающих ниже горизонтов современной или погребенных почв, резко возрастает и часто становится максимальной для

разреза данного циклита не только при дополнительных нагрузках, но и при природной. Последнее не может быть объяснено ни реализацией гидратационно-дегидратационно-недоуплотнительного механизма формирования просадочности эоловых лессовых пород, ни развитием дегидратационно-недоуплотнительного механизма в отношении пород пролювиального генезиса.

3. Во многих разрезах толщ лессовых пород эолового или пролювиального генезиса погребенные почвы, сформировавшиеся на них, оказываются просадочными. Это их свойство определяется не механизмами его формирования, характерными для эоловых или пролювиальных отложений, а явно другим механизмом — гипергенно-разуплотнительным.

Можно было бы привести и другие примеры. Но и без них ясно, что необходимо четко зафиксировать такую позицию: *во многих ситуациях (если не в большинстве случаев) мы не можем объяснить распределение величины просадочности по разрезу исходя из признания действия какого-либо отдельного (только одного) механизма формирования просадочности лессовых пород. Стремление к этому было, с точки зрения автора, одной из главных ошибок в познании генезиса просадочности лессовых пород. И именно это положение должно рассматриваться в качестве главной причины необходимости создания общей теории формирования просадочности лессов.*

#### **Исходная позиция общей теории формирования просадочности лессовых пород**

Теоретической предпосылкой, которая позволила бы описать и объяснить процесс формирования просадочности лессовых пород как их полигенной совокупности с различным распределением просадочности по разрезу, является постулат о возможности одновременного, частично одновременного или последовательного действия различных механизмов, приводящих к образованию рассматриваемого свойства. Эта идея не нова по содержанию, но в явном виде она была сформулирована лишь в 1999 году [19].

Если принять в качестве исходной позиции данный постулат, то надо принять и следующее утверждение: *величина и распределение просадочности по разрезу есть функции наложения друг на друга различных механизмов ее формирования.* При этом следует подчеркнуть, что среди постулированных и рассмотренных ранее механизмов формирования просадочности есть по крайней мере один, являющийся *всеобщим, проявляющимся и накладывающимся на любой другой действующий механизм или на результаты действовавших ранее механизмов.* Им, с точки зрения автора, является *гипергенно-дегидратационно-разуплотнительный механизм формирования просадочности, который теоретически может проявляться везде и всегда и который в том или ином виде сопровождает любой другой процесс формирования и развития пород в субэразальных условиях.*

Подчеркнем, что наложение различных механизмов формирования просадочности может быть истинным при одновременном развитии или хотя бы при частичном совпадении времени реализации двух механизмов. Однако так же называется и результат наложения действия одного механизма на результат действия другого, причем время реализации второго не связано со време-

нем развития первого в ходе геологического процесса формирования просадочности [19, 25].

Признание наложения друг на друга различных механизмов формирования просадочности лессовых пород как естественного процесса в истории их накопления и субэразального преобразования позволяет более логично и обоснованно объяснить ход формирования просадочности в разрезах лессовых пород различного генезиса и разного строения. Из этого следует, что даже при изучении истории формирования просадочности толщ лессовых пород какого-то одного строго определенного генезиса должны учитываться не только условия и следствия реализации так называемого основного для этих отложений механизма, но и особенности развития сопутствующих механизмов. Без этого многие генетические построения не могут быть выполнены. Это тем более должно быть отражено в положениях общей теории формирования рассматриваемого свойства.

#### **Основные утверждения общей теории формирования просадочности лессовых пород**

В работе [25] были сформулированы следующие основные положения общей теории формирования просадочности лессов.

1. Просадочность лессовых пород в реальных разрезах, в том числе в пределах одного и того же разреза, может иметь разное происхождение вследствие наложения различных механизмов ее формирования — сингенетическое, эпи-сингенетическое, син-эпигенетическое и эпигенетическое.

2. Просадочность как сингенетическое свойство может сформироваться только в лессовых породах эолового, делювиального и пролювиального генезиса в соответствии с описанными ранее гидратационно-дегидратационно-недоуплотнительным или дегидратационно-недоуплотнительным механизмами соответственно.

3. Просадочность как эпи-сингенетическое и син-эпигенетическое свойство формируется при наложении гипергенно-дегидратационно-разуплотнительного механизма (точнее, гипергенно-разуплотнительной его составляющей) на законсервированные результаты реализации гидратационно-дегидратационно-недоуплотнительного или дегидратационно-недоуплотнительного механизмов в просадочных толщах эоловых и делювиально-пролювиальных лессовых пород соответственно. В случае формирования просадочности как эпи-сингенетического свойства ведущая роль остается за первичными механизмами, например за дегидратационно-недоуплотнительным механизмом для пролювиальных образований. А при формировании син-эпигенетической просадочности ведущая роль принадлежит уже налаженному механизму.

4. Просадочность как эпигенетическое свойство лессовых пород формируется только под влиянием последегидратационно-доуплотнительного механизма в аллювиальных и озерно-аллювиальных отложениях и всеобщего по своей сущности гипергенно-дегидратационно-разуплотнительного механизма.

5. Просадочность в нижней части разрезов большинства мощных циклически построенных толщ лессовых пород эолового и пролювиального генезиса является сингенетической, выше по разрезам — эпи-сингенетической, а в их верхней части под горизонтами современных и погребенных почв — син-эпигенетической вслед-

ствие наложения результатов действия гипергенно-разуплотнительного механизма.

6. Признание действия разных механизмов формирования просадочности лессовых пород в ходе геологической истории одной толщи позволяет сформулировать следствие, определяющее величину нагрузки, при которой проявится просадка: просадочность лессовых пород любого генезиса вследствие наложения гипергенно-разуплотнительного механизма может проявляться под действием не только дополнительной нагрузки, но и природной.

Два следующих положения связаны с распределением величин просадочности и мощности просадочных лессовых пород.

7. Максимальная величина просадочности лессовых пород должна быть свойственна тем частям разреза, в пределах которых она является эпи-сингенетической или син-эпигенетической.

8. Максимальные мощности просадочных лессовых пород наблюдаются в разрезах эоловых и пролювиальных отложений, просадочность которых является свойством сингенетическим. Наложение гипергенно-разуплотнительного механизма на породы таких разрезов, как правило, не приводит к увеличению мощности просадочной толщи ни в целом, ни в разрезах отдельных циклитов.

### **Важнейшие составляющие структуры общей теории формирования просадочности лессовых пород и их значение**

Главными являются следующие элементы структуры общей теории формирования просадочности лессовых пород:

- 1) многочисленные эмпирические данные о просадочности лессовых пород разного возраста и раз-

личного генезиса, значительная часть которых не может быть объяснена на основе частных теорий;

- 2) теоретический постулат: формирование просадочности лессовых пород может быть обусловлено как действием отдельных (частных) механизмов, так и их наложением друг на друга;

- 3) многочисленные экспериментальные (лабораторные) и природные доказательства действия разных механизмов формирования просадочности лессовых пород;

- 4) логико-графические модели, отражающие важные закономерности формирования просадочности лессовых пород, в том числе модели, учитывающие наложение одних механизмов на результаты действия других (предшествующих);

- 5) совокупность теоретических положений, вытекающих из экспериментальных данных [21, 25].

Каково же *практическое значение рассмотренных теоретических построений*? Положения, сформулированные в рамках общей теории формирования просадочности лессовых пород, позволяя, исходя из накопленного опыта, объяснить ход процесса возникновения просадочности в разрезах лессовых пород любого строения и любого генезиса. Это не означает, что при этом не возникает каких-либо вопросов и трудностей. Но они появляются главным образом из-за невысокого уровня знаний о процессах формирования и развития массивов лессовых пород. Необходимо дальнейший поиск новых подходов к получению более достоверных данных по этим проблемам, в частности комплексное использование результатов абсолютного датирования, изотопной геохимии, детального изучения спорово-пыльцевых комплексов, которые сейчас применяются инженерами-геологами лишь эпизодически. Все эти методы должны тесно сочетаться с детальным инженерно-геологическим опробованием опорных разрезов лессовых пород [15].

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Денисов Н.Я. О генезисе просадочных лессовидных суглинков // Доклады АН СССР. 1940. Т. 28. № 6. С. 526–527.
2. Денисов Н.Я. О природе просадочных явлений в лессовых суглинках. М.: Советская наука, 1946. 176 с.
3. Денисов Н.Я. Строительные свойства лесса и лессовидных суглинков. М.: Госстройиздат, 1953. 154 с.
4. Коновалов А.А. О природе просадочности лессовых грунтов // Геоэкология. 1997. № 1. С. 90–95.
5. Кригер Н.И. Лесс, его свойства и связь с географической средой. М.: Наука, 1965. 296 с.
6. Кригер Н.И. Лесс. Формирование просадочных свойств. М.: Наука, 1986. 133 с.
7. Кригер Н.И. Принцип Денисова и его значение для понимания проблемы лесса // Материалы Молдавского республиканского совещания по инженерной геологии. Кишинев, 1969. С. 194–197.
8. Кригер Н.И. Происхождение просадочных свойств лесса и лессовидных пород // Материалы Всесоюзного совещания «Инженерная геология лессовых пород», Ростов-на-Дону, 1989 г. М., 1989. Кн. 1. С. 9–10.
9. Кригер Н.И. Условия образования просадочных свойств лесса и других пород на Земле // Материалы Международного симпозиума по литологии и генезису лессовых пород. Ташкент, 1970. Т. 1. С. 46–53.
10. Кригер Н.И., Котельникова Н.Е., Лаврусевич С.И. и др. Закономерности формирования просадочных свойств лессовых пород Средней Азии и Южного Казахстана. М.: Наука, 1981. 132 с.
11. Минервин А.В. Генезис и инженерно-геологическая характеристика покровных отложений долины р. Оби (в ее среднем и нижнем течении): автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: Изд-во МГУ, 1959. 22 с.
12. Минервин А.В. Роль криогенных процессов в формировании лессовых пород // Проблемы криолитологии. М.: Изд-во МГУ, 1982. Вып. 10. С. 41–60.
13. Минервин А.В. Роль процессов гипергенеза в формировании просадочности лессовых пород юга Сибири // Генетические основы инженерно-геологического изучения горных пород. М.: МГУ, 1975. С. 305–314.

14. Минервин А.В., Сергеев Е.М. Сущность процесса облессования в подзолистой зоне // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 1961. № 5. С. 3–14.
15. Опорные инженерно-геологические разрезы лессовых пород Северной Евразии / под ред. В.Т. Трофимова. М.: КДУ, 2008. 608 с.
16. Текучев Ю.Б., Бондарева Л.И. Происхождение лессовых пород и их просадочности. Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2005. 152 с.
17. Трофимов В.Т. Генезис просадочности лессовых пород (гипотезы, экспериментальные данные, задачи дальнейших исследований). Статья 1 // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 1986. № 1. С. 78–91.
18. Трофимов В.Т. Генезис просадочности лессовых пород (гипотезы, экспериментальные данные, задачи дальнейших исследований). Статья 2 // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 1986. № 2. С. 60–76.
19. Трофимов В.Т. Генезис просадочности лессовых пород. М.: Изд-во Московского университета, 1999. 271 с.
20. Трофимов В.Т. Генезис просадочности лессовых пород: от идей Н.Я. Денисова к общей теории // 1-е Денисовские чтения: сборник. М.: Изд-во МГСУ, 2000. С. 16–17.
21. Трофимов В.Т. Инженерная геология массивов лессовых пород. М.: КДУ, 2007. 398 с.
22. Трофимов В.Т. О гипотезах формирования просадочности лессовых пород // Проблемы лессовых пород в сейсмических районах. Ташкент, 1980. С. 100–103.
23. Трофимов В.Т. О механизмах формирования просадочности лессовых пород // Геоэкология. 2001. № 2. С. 141–148.
24. Трофимов В.Т. О сингенетической и эпигенетической просадочности лессовых грунтов // Геоэкология. 1997. № 2. С. 69–77.
25. Трофимов В.Т. Теория формирования просадочности лессовых пород. М.: ГЕОС, 2003. 275 с.

# ГЕОТЕХНИКА

Журнал для изыскателей, проектировщиков и строителей

Цель журнала — ознакомление российских специалистов с передовым отечественным и зарубежным опытом в области геотехники

Периодичность в 2017 году:  
**6 номеров**

Стоимость годовой подписки:  
**3900 рублей**  
[info@geomark.ru](mailto:info@geomark.ru)

