

# ИСТОРИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ПЕСКОВ В СССР И РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

## HISTORY OF ENGINEERING–GEOLOGICAL STUDY OF THE SAND IN THE USSR AND THE RUSSIAN FEDERATION

### КОРОЛЁВ В.А.

Профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., г. Москва, va-korolev@bk.ru

### KOROLEV V.A.

Professor of the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, DSc (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), Moscow, va-korolev@bk.ru

### ТРОФИМОВ В.Т.

Заведующий кафедрой инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., профессор, г. Москва, trofimov@geol.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@geol.msu.ru

#### Ключевые слова:

песок; история исследований; грунтоведение; инженерная геология; литология; почвоведение; география; аренология.

#### Keywords:

sand; history research; soil science; engineering geology; lithology; soil science; geography; arenology.

#### Аннотация

Рассмотрены история и методология инженерно-геологического изучения песков в СССР и Российской Федерации за последние сто лет. Показано, что инженерно-геологические исследования песчаных грунтов в этот период носили комплексный характер и развивались в тесном взаимодействии с другими направлениями: географическим, литологическим, почвенным и др. Отмечены основные черты современного этапа исследований.

#### Abstract

We consider the history and methodology of engineering-geological studies of sands in the USSR and the Russian Federation over the last hundred years. We show that the engineering-geological studies of sandy soils were of a complex character during this period and developed in close collaboration with other areas of study: geography, lithology, soil science, and others. We note the main directions of current research.

#### Введение

Песок — один из самых обычных и в то же время специфических грунтов, широко распространенных на Земле. На территории России пески также имеют широкое распространение. В связи с этим они издавна привлекали к себе внимание строителей, почвоведов, грунтоведов, географов, литологов и других специалистов.

История изучения и использования песков на территории бывшего СССР и современной России уходит в глубокую древность. На первых этапах<sup>1</sup> в основном накапливались начальные сведения о песках, затем — о географических особенностях и границах распространения пустынь и песчаных территорий, позже — геологическое изучение песков в связи с их

закреплением и строительством на песках различных сооружений, изучение песков в почвоведении в связи с развитием на них почвообразования, а также земледелия и животноводства и, наконец, на последующих этапах, начиная с 1917 г., — специализированное геологическое изучение песков как полезных ископаемых, а также их комплексное изучение в геоморфологическом, литолого-петрографическом, почвенном, инженерно-геологическом и эколого-геологическом отношениях.

Вместе с тем в инженерно-геологической литературе история изучения песков почти не освещена. Восполнение этого пробела и составляет цель настоящей статьи. Рассмотрим советский и современный этапы исследования песков, дополнив их важнейшими сведениями из мировой практики, поскольку изучение песков России проходило не

<sup>1</sup> История изучения песков на территории Российской империи до 1917 года заслуживает отдельного рассмотрения.

изолированно, а часто опережало или дополняло зарубежные исследования песков.

### **Комплексные исследования песков в советское время (1917–1991 гг.)**

На этом этапе исследование песков носило комплексный характер и осуществлялось в нескольких направлениях: 1) в *географическом* — в связи с изучением песчаных ландшафтов территории СССР и их геоморфологических, климатических, геоботанических, зоогеографических, мелиоративных и иных особенностей; 2) *литологическом* — в связи с анализом литолого-петрографических, минералогических и иных особенностей; 3) *почвенном* — в связи с процессами почвообразования на песках; 4) *инженерно-геологическом* — в связи с изучением песков как грунтов.

В *географическом отношении* изучение песков на этом этапе носило широкий характер. После окончания гражданской войны правительство РСФСР, а затем и СССР приступило к организации и проведению в степях, полупустынях и пустынях широких агролесомелиоративных мероприятий, диктуемых ухудшающейся ландшафтно-экологической обстановкой. Значительная часть работ по исследованию песков в советское время была связана с их мелиорацией, что, в свою очередь, обусловлено экономическими программами советского правительства по восстановлению и развитию сельского хозяйства, электрификации, индустриализации и т.п. Основной проблемой являлось то, что в результате активного хозяйственного освоения песчаных земель последние приходили в движение и становились непригодными и опасными для развития народного хозяйства. На агролесомелиоративные организации были возложены работы по обследованию, изучению и проведению работ по агролесомелиорации песков, оврагов и других малоиспользуемых в хозяйстве земель [52].

В агролесомелиоративный минимум были включены следующие мероприятия: а) укрепление подвижных песков, б) облесение закрепленных песков, в) заложение защитных полос на распахиваемых песчаных землях, г) укрепление и облесение оврагов и смываемых горных и речных склонов, д) уход за выращиваемыми культурами и е) их охрана. Деятельность агролесомелиораторов в те годы была сосредоточена в различных ведомствах. Наиболее широкие работы проводились в системе народных комиссариатов земледелия и управления лесного хозяйства среднеазиатских республик и юго-восточных областей европейской части СССР.

В годы первых двух сталинских пятилеток возник ряд научных учреждений, занимавшихся изучением вопросов агролесомелиорации песчаных земель пустынной, полупустынной и степной зон, где вместе с тем велась работа по комплексному изучению песков и песчаных земель. Центральными научными организациями с 1931 г. были Всесоюзный научно-исследовательский институт лесокультур и агролесомелиорации — ВНИАЛМИ, Песчано-пустынный институт

Академии наук СССР, позднее реорганизованный с 1935 г. в сектор песков и пустынь Почвенного института Академии наук СССР, бюро пустынь Всесоюзного института растениеводства [52].

Особо стоит отметить деятельность ВНИАЛМИ. За первое десятилетие своего существования институт издал 16 выпусков научных трудов, а в 1941 г. осуществил первое издание книги «Агролесомелиорация». Большая опытно-исследовательская работа проводилась также местными научными учреждениями — институтами, опытными станциями и их опорными пунктами. Однако вся эта опытная сеть работала в значительной мере изолированно друг от друга, так как не существовало руководящего методического центра, который мог бы направлять и контролировать исследования. Из данного периода можно выделить большое количество комплексных экспедиционных исследований песчаных массивов, в работе которых принимали участие гидрологи, почвоведы, ботаники и другие ученые [52].

В годы Великой Отечественной войны объем пескоукрепительных мероприятий повсеместно сократился, за исключением работ по укреплению песков вдоль железных дорог. Но уже в первые послевоенные годы агролесомелиоративные работы были повсеместно восстановлены. Широкие перспективы для развертывания работ на песках открыло историческое постановление Совета Министров и ЦК ВКП (б) от 20 октября 1948 г. «О плане полезащитных насаждений, внедрения травопольных севооборотов, строительства прудов и водоемов для обеспечения высоких и устойчивых урожаев в степных и лесостепных районах европейской части СССР». Важным разделом этого документа было указание Министерству лесного хозяйства провести в 1949–1955 гг. в целях предотвращения передвижения песков в степных и полупустынных районах на плодородные земли Поволжья, Северного Кавказа, центрально-черноземных областей и Украинской ССР закрепление и облесение песков на площади 322 тыс. га. Из опубликованных в журнале «Лес и степь» данных (1950, № 5) видно, что в 1949 г. лесхозами и лесозащитными станциями Министерства лесного хозяйства СССР уже произведено облесение песков на площади 32,8 тыс. га [52].

За 1948–1953 гг. в СССР была развернута крупномасштабная работа по выполнению данного плана. Однако в 1953 г. после смерти И.В. Сталина работы, предусмотренные постановлением, были приостановлены. Уже в марте этого года было ликвидировано Главное управление полезащитного лесоразведения при Совете Министров СССР. Следует отметить, что в рамках работ по постановлению 1948 г. до 1953 г. были посажены 2280 тыс. га защитных лесных насаждений (до 1956 г. сохранилось 650 тыс. га). В это время появилось большое количество работ, в которых давалась комплексная характеристика песков, включая все их компоненты (рельеф, растительность, почвы).

Новый период в географическом изучении песчаных ландшафтов был связан с освоением целинных



**А.Д. Архангельский**  
(1879–1940)



**А.Н. Заварицкий**  
(1884–1952)



**М.С. Швецов**  
(1885–1975)

и залежных земель. Эпопея широкомасштабной распашки до этого не использовавшихся земель, начавшаяся в 1954 г. и связанная с деятельностью Н.С. Хрущева, отодвинула на задний план работы по лесомелиорации и привела к неутешительным последствиям. В 1960-е годы на фоне повторяющихся острых засух и пыльных бурь, их тяжелых последствий внимание государства вновь сосредоточивается на проблеме борьбы с засухой и создания условий для устойчивого развития сельского хозяйства. В стране разворачиваются крупномасштабные работы по мелиорации земель, борьбе с ветровой и водной эрозией почв. Следует отметить, что в эти годы разгорается острая дискуссия о целесообразности посадки защитных лесонасаждений в острозасушливых степных районах. Противники создания лесополос объясняли это малым (200–250 мм) количеством осадков и отсутствием приемлемых лесорастительных условий.

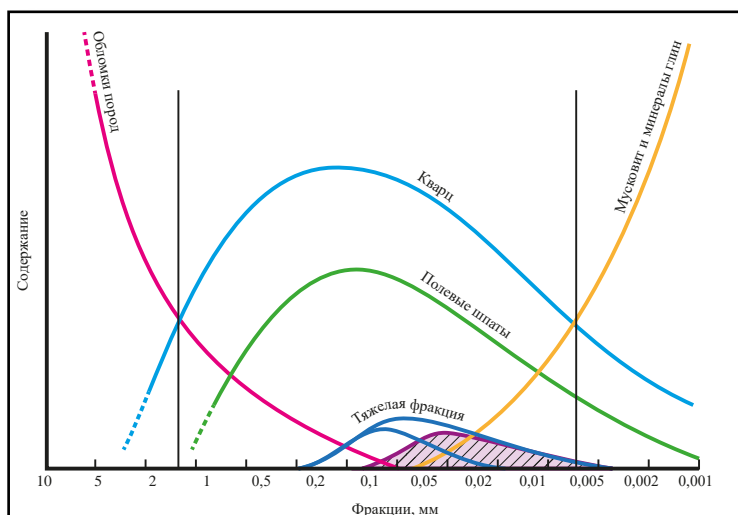
70-е годы XX века связаны с постановкой проблемы опустынивания, в частности опустынивания песчаных земель, и решением этой проблемы.

Значительный вклад в исследование динамики и аэродинамики песков, в изучение эоловых процессов внесли многие советские геоморфологи, среди которых следует назвать Б.А. Федоровича, С.С. Неустроева [40], И.А. Знаменского, С. Вейсова, А.В. Гвоздикову, Р.С. Закирова. Вопросы антропогенной дефляции песков и песчаных почв были освещены в работах Т.Ф. Якубова, А.Г. Гаеля [2], Л.Ф. Смирновой, М.И. Долгиловича.

В *литологическом отношении* изучение песков на этом этапе проводилось не менее интенсивно. В области литологии был внесен огромный вклад в исследование песков как одного из самых распространенных типов осадочных пород, их генетических и различных литологических особенностей, включая изучение минерального состава, структуры и текстуры.

Среди виднейших отечественных литологов, активно занимавшихся изучением песков на этом этапе, следует назвать А.Д. Архангельского, А.Н. Заварицкого, М.С. Швецова, Н.М. Страхова [55], Л.Б. Рухина [51], А.В. Копелиовича, А.Г. Коссовскую, Н.В. Логвиненко [36], В.Н. Шванова [66, 67], И.М. Симановича [54], В.Т. Фролова [64], О.В. Япаскурта и др., а среди зарубежных — Х. Блатта [70], Дж.К. Брауна [71], Р.Л. Фолка [72, 73], Ф.Дж. Петтиджона [77], П.Д. Крынина [75], У.К. Крумбайна [74], Ф. Кюнена [76], Л.Ф. Риччи [79] и др.

М.С. Швецов с 1923 г. читал в МГУ курс по петрографии осадочных пород, в котором значительная роль уделялась и пескам. Одним из его учеников был Н.М. Страхов, ставший впоследствии академиком и создавший основы современной литологии. В 1960–1962 гг. им была издана капитальная трехтомная монография «Основы теории литогенеза» [55], в которой наряду с другими породами приводилась детальная



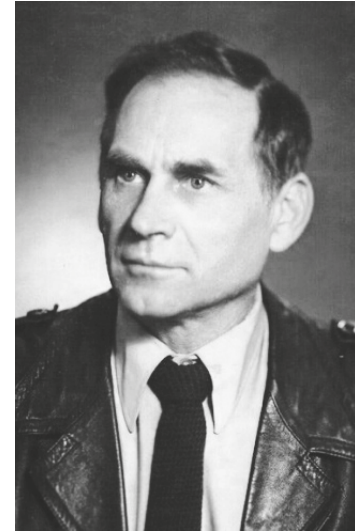
**Рис. 1. Общая схема распределения кластического материала в гранулометрическом спектре осадков [55]**



**Н.М. Страхов**  
(1900–1978)



**Л.Б. Рухин**  
(1912–1959)



**В.Н. Шванов**  
(1933–1999)

литологическая характеристика песков. В частности, им была рассмотрена гранулометрическая сортировка песчаного материала и текстуры песчано-алевритовых пород различных фациальных типов в конечных водоемах стока. На рисунке 1 представлена схема распределения кластического материала в осадках Н.М. Страхова, получившая широкую известность не только среди литологов, но и среди почвоведов и грунтоведов.

Обстоятельная характеристика песков была изложена Л.Б. Рухиным в его монографии «Основы литологии» [51]. В его работах также много внимания уделялось вопросам гранулометрической сортировки песчаного материала в отложениях разных фациальных типов. Кроме того, он заложил основы изучения гранулометрического состава для установления генезиса древних песков.

Всю свою жизнь большой интерес к пескам и другим кластолитам проявлял В.Н. Шванов (1933–1999) — автор ряда монографий о песках [66, 67]. Вслед за Л.Б. Рухиным он расширил диапазон нижней границы песчаной фракции до 0,05 мм, в то время как наиболее распространенная десятичная градация кластических пород проводит ее по размерности 0,1 мм.

Большой вклад в литологию песчаных пород внесли В.Т. Фролов [64], работавший профессором кафедры литологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова с ее основания в 1983 году и читавший там курс литологии, и О.В. Япаскерт, возглавлявший с 1994 г. эту кафедру.

В этот же период изучением песков активно занимались и многие зарубежные литологи. Наибольшее влияние на развитие направления, связанного с гранулометрическим и морфологическим анализом частиц осадочных пород, включая пески, оказали, по-видимому, начиная с 1932 г. многочисленные работы американского литолога У.К. Крумбайна [74] и Г. Уодэлла [83]. Попытки использования гранулометрических особенностей пород для разграничения

условий их образования и (или) факторов осадконакопления предпринимаются и поныне [77].

Уильям Кристиан Крумбайн (1902–1979) — крупнейший американский литолог и седиментолог XX века, работавший в Северо-западном университете Эванстона, штат Иллинойс. Его называли «отцом» компьютерной геологии, одним из пионеров внедрения количественных статистических методов исследования в литологию и седиментологию, в том числе при морфологическом анализе песчаных зерен. Обладая необычайным аналитическим складом ума, он удачно использовал статистические методы в своих исследованиях. Его знакомство и сотрудничество с известным американским литологом Ф. Петтиджоном также способствовало развитию им этого направления исследований. Он опубликовал свыше 130 работ, включая пять монографий, в которых в том числе рассматривались и пески.

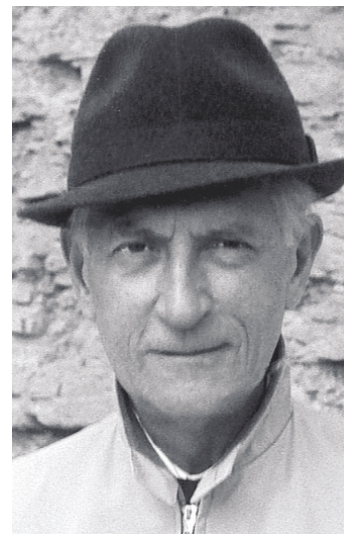
Наряду с ним в этот же период активно занимался исследованием песков другой американский литолог — Фрэнсис Джон Петтиджон (1904–1999), который в течение многих лет служил на факультете университета Джона Хопкинса. Он получил докторскую степень в университете штата Миннесота в 1923 году за работы по изучению литологии докембрия и геологических структур в Онтарио. В 1929 году он получил должность в университете Чикаго, где стал полным профессором в 1949 году. В 1943 г. он опубликовал важную работу по архейской седиментологии. В 1952 году он стал работать в университете Джона Хопкинса, где и оставался до выхода на пенсию в 1973 году. Широкую известность он получил после публикации монографии «Осадочные породы», вышедшей в 1957 г. и затем несколько раз переизданной. Совместно с Р. Поттером и Р. Сивером он в 1972 г. издал монографию «Пески и песчаники», посвященную всестороннему анализу этих пород [77]. Эта монография также переиздавалась несколько раз и до сих пор является настольной книгой многих литологов и



**В.Т. Фролов**  
(1923–2015)



**О.В. Япаскурт**  
(1936–2016)



**У.К. Крумбайн**  
(1902–1979)

грунтоведов, изучающих пески.

Согласно Ф. Петтиджону [77] история изучения песков и песчаников свидетельствует о неоднократной смене направлений их исследования. Разные авторы ставили своей целью рассмотрение песков и песчаников с различных позиций и использовали разные подходы для создания единой точки зрения на историю формирования этих образований. Объединение учений о песках даже стали выделять в отдельную область исследований — аренологию<sup>1</sup>.

*Изучение песков почвоведом* на этом этапе также внесло ощутимый вклад в понимание природы песков и их важнейших особенностей. Большой вклад в исследование песков в этот период был сделан такими советскими почвоведом, как В.Р. Вильямс (1863–1939), С.С. Неуструев [40], Г.Е. Высоцкий, Б.Б. Полюнов, И.П. Герасимов, Э.Н. Благовещенский, М.П. Петров, Н.Ф. Кулик, Н.А. Воронков, А.Г. Гаель [2], А. Нуннаев, В.П. Дедков, П.Д. Гунин, И.И. Судницын, Е.В. Шеин [68], А.Д. Орлов и многие другие.

Ими разрабатывалась генетическая классификация песчаных почв, оценка их по лесорастительным условиям, в том числе на песках, был накоплен значительный практический и теоретический материал по облесению и сельскохозяйственному освоению песков благодаря работам Н.И. Суса, В.Н. Виноградова, В.В. Миронова, А.С. Скородумова, Ф.М. Касьянова, Н.С. Зюзя, В.И. Петрова и многих других [2].

В этот же период процессы почвообразования на песках разного возраста и генезиса, их минералогия, физические и химические свойства изучались С.В. Зонном, А.А. Роде, А.Г. Гаелем [2], Л.Ф. Смирновой, А.Н. Маланиным, А.В. Хабаровым, В.Д. Тонконоговым, В.О. Таргульяном и др. Гидрологические свойства песков и песчаных почв раскрыты в работах Э.Н. Благовещенского,

М.П. Петрова, А.Г. Гаеля [2], Н.Ф. Кулика [32], Н.А. Воронкова, П.Д. Гунина, И.И. Судницына, Е.В. Шеина [68], Б.П. Орлова и др.

Большой вклад в исследование песков в этот период внес российский почвовед А.Г. Гаель. В 1932 г. он впервые описал Усть-Кундрюченский песчаный массив, расположенный на территории Усть-Донецкого района Ростовской области, относящийся к южной части Придонских песков и занимающий площадь 15,8 тыс. га. Впоследствии А.Г. Гаель занимался исследованием почвообразования на песках разного возраста и генезиса, разного минерального состава и свойств из различных регионов территории СССР. Результаты этих исследований были обобщены в 1999 г. в монографии [2].

В *инженерно-геологическом отношении* изучение песков в первой половине XX в. проводилось в связи с их исследованием как грунтов, как среды и основания для различных инженерных сооружений, а также как грунтовых массивов, в пределах которых формируются специфические геологические и инженерно-геологические процессы.

Большой вклад в изучение гранулометрического состава, строения, физических и физико-механических свойств песков на этом этапе внесли многие известные русские почвоведы и грунтоведы: М.М. Филатов (1936), В.В. Охотин [20, 42, 43], Н.Н. Иванов [20], А.А. Роде, А.М. Васильев, И.В. Попов, П.И. Фадеев [60, 61], С.С. Морозов, В.М. Файнциммер и др.

Начиная с 1930-х годов большое внимание стало уделяться изучению водных и гидрогеологических особенностей песков. В эти годы начались стационарные наблюдения за динамикой грунтовых вод и водообеспеченностью Терских, Урдинских, Придонских, Нижнеднепровских песков, а также

<sup>1</sup> Аренология (от лат. arena — песок) — наука о песках и песчаниках, термин, редко применяемый в русской литературе.



А.Г. Гаель  
(1900–1990)



Ф.Д. Петтиджон  
(1904–1999)



Б.А. Федорович  
(1902–1981)

песков в Приаралье и Средней Азии.

В этот период активно развивались инженерно-геологические исследования песков как грунтов. Весьма интересные и важные исследования песчаных грунтов были изложены в работах Н.М. Герсеванова, М.Н. Гольдштейна [3], Г. Джилбой, В.А. Дуранте, П.Л. Иванова [21, 22], А. Казагранде, Г.А. Куприной [33, 34], А.Ф. Лебедева [35], В.Д. Ломтадзе, Н.Н. Маслова [37], С.С. Морозова, В.В. Охотина [42, 43], И.В. Попова, А.Д. Потапова [46], В.А. Приклонского, Е.М. Сергеева [53], К. Терцаги [82], М.М. Филатова, П.И. Фадеева [60, 61], В.А. Флорина [62, 63], Б. Хоу и др.

Значительный вклад в инженерно-геологическое изучение песков внес П.И. Фадеев (1914–1986). В 1948 г. он защитил в МГУ кандидатскую диссертацию «Сравнительная характеристика песчаных грунтов европейской части СССР». Это была первая обобщающая работа по инженерно-геологической характеристике песков европейской части России.

В 1951 г. П.И. Фадеевым была опубликована монография «Пески СССР» (рис. 2) — одна из первых обобщающих работ по пескам страны, в которой были приведены общие начальные сведения о песчаных грунтах, подробно рассмотрено их происхождение, состав и свойства [60]. В то время почти отсутствовали данные о площади распространения на территории СССР песчаных грунтов различных генетических типов. П.И. Фадеевым была сделана попытка получить такие данные, после чего им впервые была составлена первая схематическая карта распространения песчаных образований на территории европейской части России.

В 1950–1954 гг. П.И. Фадеев в должности научного сотрудника работал в составе Каракумской экспедиции кафедры грунтоведения МГУ, возглавляемой Е.М. Сергеевым. В этот период он изучал пустынные пески Каракумов и Кызылкумов. В 1960–1980-е гг. П.И. Фадеев изучал пески центральных районов

России, Мещерской низменности, а также Средней Азии. Результатом этих работ стала созданная им общая классификация песчаных образований.

Академик Е.М. Сергеев (1914–1997) занимался исследованием песков во время работы возглавляемой им Каракумской экспедиции геологического

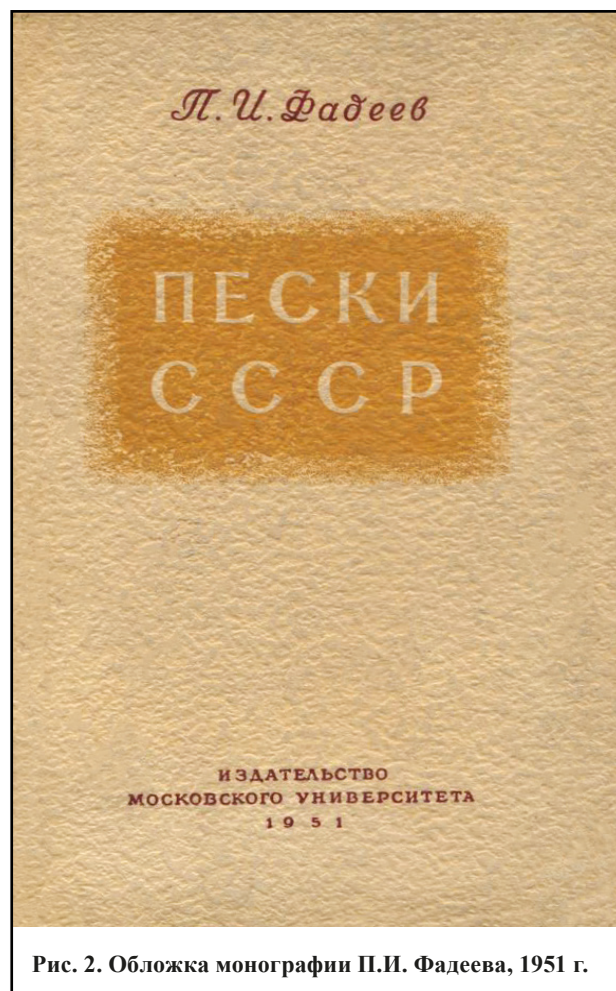


Рис. 2. Обложка монографии П.И. Фадеева, 1951 г.



**М.М. Филатов**  
(1877–1942)



**В.В. Охотин**  
(1888–1954)



**С.С. Морозов**  
(1898–1971)

факультета МГУ в 1951–1953 гг. Работая по проектируемой трассе Главного Туркменского канала, он провел обширные исследования различных песков. Накопленный материал позволил впоследствии Е.М. Сергееву создать гранулометрическую классификацию песков, которая используется в практике

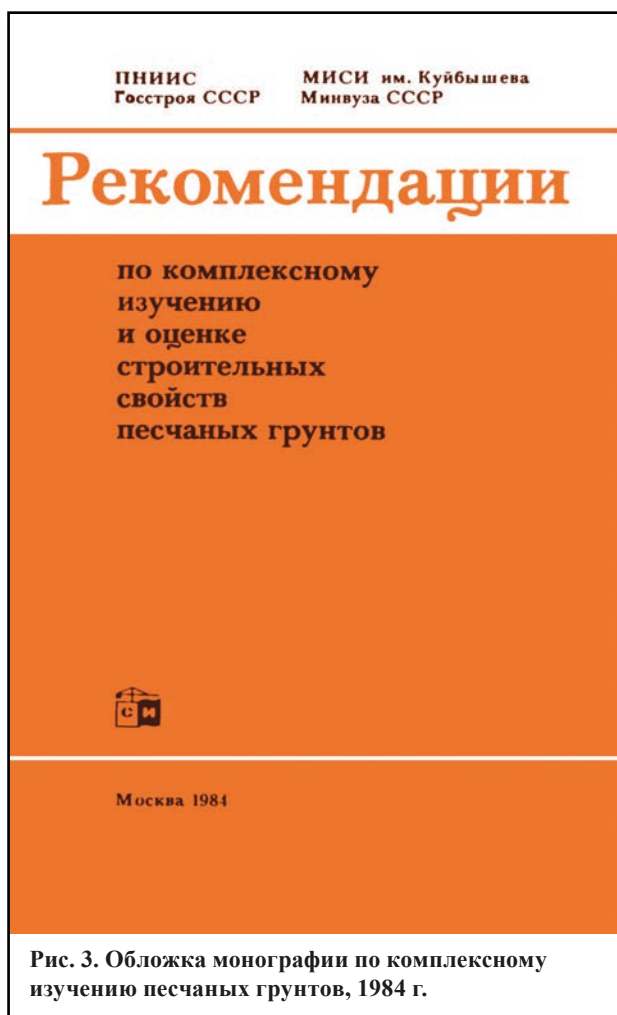
инженерно-геологических исследований до сих пор.

Значительный вклад в исследование песков внесла Г.А. Куприна (1927–1976) — ученица Е.М. Сергеева, работавшая в 1952–1953 гг. в составе Каракумской экспедиции. В 1953 г. под руководством Е.М. Сергеева она защитила кандидатскую диссертацию «Генезис, состав и свойства песков Западных Каракумов». Это была первая обобщающая работа по пескам данного региона. Позже совместно с Г.А. Куприной, Н.В. Орнатским, Ю.М. Шехтманом Е.М. Сергеев занимался исследованием закономерностей кольматации песков [34]. Обобщением этих работ стала монография Г.А. Куприной «Кольматация песков» [33], вышедшая под редакцией Е.М. Сергеева в 1968 г., и многочисленные статьи. Позже на кафедре грунтоведения и инженерной геологии МГУ изучением песков занимались многие соратники и ученики Е.М. Сергеева.

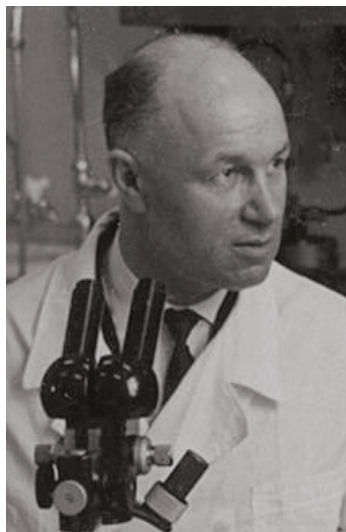
Региональные исследования песков на территории СССР были освещены в многотомных изданиях по инженерной геологии страны, вышедших в 1950–1980-е гг. благодаря исследованиям И.В. Попова, Е.М. Сергеева, Е.Г. Чаповского, М.В. Чуринова, Г.К. Бондарика, Г.С. Золотарева, Н.В. Коломенского, В.Т. Трофимова, И.С. Комарова, В.Д. Ломтадзе и многих других.

Многие вопросы геодинамики песчаных массивов и развития процессов, связанных с песками, мерами инженерной защиты от подвижных песков, были рассмотрены в работах А.Д. Иванова [18], А.Е. Иванова [19], М.П. Петрова [43], И.В. Попова, Е.М. Сергеева [53] и др.

Всесторонние исследования песков в этот период проводились в МИСИ (ныне МГСУ) Н.Я. Денисовым [16], А.Д. Потаповым [46], И.В. Дудлером [17] и другими учеными. И.В. Дудлер в 1974 г. обосновал принципы изучения песков с позиций генетического грунтоведения и дал характеристику их основных категорий состояния и свойств.



**Рис. 3.** Обложка монографии по комплексному изучению песчаных грунтов, 1984 г.



**П.И. Фадеев**  
(1914–1986)



**Г.А. Куприна**  
(1927–1976)



**Е.М. Сергеев**  
(1914–1997)

Значительный вклад в исследование техногенных, в том числе намывных, песков плотин, дамб, намывных территорий, хвостохранилищ и т.п. был внесен многими отечественными инженерами-геологами, среди которых необходимо отметить Ю.М. Абелева, А.М. Аронова, В.Г. Березанцева, П.А. Беспалова, В.Е. Василевского, Е.Ф. Винокурова, Б.А. Волнина, М.А. Глотову, М.Н. Гольдштейна, Б.И. Далматова, В.В. Добровольского, И.В. Дудлера [17], В.А. Дуранте, П.Л. Иванова [21, 22], А.П. Колпашникова, П.А. Коновалова, В.И. Крутова, В.А. Мелентьева, А.И. Огурцова, И.Я. Русинова, Ю.А. Соболевского, Г.П. Степаненко, И.В. Финаева, М.И. Хазанова и многих других.

Влияние структурных и морфологических особенностей песчаных зерен на свойства песков в этот период изучалось В.И. Осиповым [41], В.Н. Соколовым, О.В. Дементьевой [15], И.В. Дудлером, А.Д. Потаповым [46], Н.А. Платовым [45] и др. В результате этих работ была разработана методика исследования морфологии песчаных зерен на базе Фурье-анализа и комплекса РЭМ-микроЭВМ, выявлены морфологические особенности песчаных зерен для песков различного генезиса, установлено влияние морфологии зерен на физико-механические свойства песков.

Значительное число исследований в этот период было посвящено изучению особенностей гранулометрического состава песков, среди которых следует назвать работы Н.Г. Боровко, Б.Г. Еськова, С.А. Попова, Г.Ф. Рожкова, Е.М. Сергеева [53], В.Т. Трофимова, П.И. Фадеева [60], Н.А. Филькина, Г.В. Холмового и др. Закономерности изменчивости гранулометрического состава и физических свойств плейстоценовых песков бассейна Верхнего Дона в 1998 г. изучал А.Э. Курилович.

Всесторонне исследовались физические и физико-химические свойства песков: их плотность и пористость, уплотняемость, водопроницаемость, капиллярное поднятие воды, тепло- и влагопроводность

и др. В изучение этих вопросов внесли вклад Г.М. Березкина, А.М. Глобус, Н.В. Коломенский [26], В.А. Королёв [27], Г.А. Куприна [33, 34], А.К. Ларионов, В.Д. Ломтадзе, Н.Н. Маслов [37], С.В. Нерпин [39], С.С. Поляков, В.А. Приклонский [48], Р. Проктор [78], И.И. Судницын, Е.М. Сергеев [53], В.Т. Трофимов, П.И. Фадеев [60, 61], Н.А. Филькин, А.А. Ханнин, Б. Циммерман [84], А.Ф. Чудновский [39] и др.

Большое внимание уделялось и исследованию физико-механических свойств песков. Компрессионную сжимаемость и деформируемость песков изучали М.М. Филатов, Е.М. Сергеев, С.С. Поляков, В.Л. Флорин, Р.С. Зиангиров, П.Л. Иванов и др.

Вопросами изучения природы *прочности* песков занимались Э.А. Арипов, М. Арнольд, А.Д. Белый, М.Д. Болтон, Т. Вяли, Б.Б. Галай, М.Н. Гольдштейн [3], И.З. Гольфельд, Н.Я. Денисов [16], И.В. Дудлер [17], В.А. Дуранте, Р.С. Зиангиров, П.Л. Иванов [21, 22], В.И. Каширский, П. Кильдер, А.Э. Курилович, М.П. Лысенко, Н.Н. Маслов [37], М. Мете, Е.Ф. Мосьяков, В.И. Осипов [41], В.В. Охотин [42], Н.А. Платов [45], Д.Е. Польшин, В.В. Радина [49], С.И. Синельщиков, В.Н. Соколов, Л.А. Смоляницкий, З.Г. Тер-Мартиросян, К. Терцаги [82], С.Б. Ухов [58, 59], В.Л. Флорин [62, 63], Н.А. Цытович, Э.Р. Черняк и др.

В песках было установлено наличие сцепления-упрочнения (по терминологии Н.Я. Денисова). Эта особенность проявляется в виде упрочненности, присущей пескам в условиях как естественного залегания (особенно характерная для некоторых генетических типов песков), так и техногенного (например, проявляющаяся у намывных песков в способности упрочняться со временем). Определяющий вклад в изучение этих особенностей песков внесли работы Н.Я. Денисова [16], В.А. Дуранте, И.В. Дудлера [17], М.И. Хазанова и ряда других авторов.

Исследование физико-механических свойств





М.Н. Гольдштейн  
(1910–1993)



А.Д. Потапов  
(1946–2014)



И.В. Дудлер

песчаных грунтов пополнялось разработками в области механики композитов — дисперсных систем, состоящих из различных частиц (элементов). Так, например, в фундаментальном труде Р. Кристенсена [31] были детально рассмотрены различные виды частиц и способы их залегания, а также получены точные математические решения для различных вариантов. Р. Кристенсен последовательно рассмотрел применение теории упругости к определению свойств композитов, влияние формы и объемной доли включений на свойства дисперсного композита. К сожалению, в этой работе принято полное слипание частиц в массиве, что не соответствует многим песчаным массивам.

В 1971 г. В.Н. Соколов, В.И. Осипов и В.К. Новик изучали явление трибоэлектризации в песках и ее влияние на их физико-механические свойства.

В этот же период впервые проявился значительный интерес к изучению *пльвинности и разжижаемости* песков. Начиная с пионерных работ 1930–1940-х годов А.Ф. Лебедева [35], В.В. Охотина [42, 43], В.А. Приклонского [26, 48], Н.В. Коломенского [26] динамические свойства песков привлекали к себе все большее внимание. Позже стали проводиться систематические исследования динамических свойств песков в МГУ, МГРИ, МИСИ, РИСИ и других вузах. Изучением этих вопросов занимались Ю.М. Абедев, О.В. Аслибекян (Островская) [1], Д.Д. Баркан, Е.А. Вознесенский, Н.М. Герсеванов, М.Н. Гольдштейн [3], И.В. Дудлер [17], П.Л. Иванов [21, 22], И. Идрисс [81], К. Ишихара, А. Казагранде, Г. Кастро, К.А. Кожобаев, Н.В. Коломенский [26], В.И. Осипов [41], В.В. Попов, В.А. Приклонский [26, 48], Г. Сид [80, 81], Е.Ю. Трацевская [56], В.А. Флорин [62, 63], Ю.Н. Частоедов [61], Г.И. Черный и многие другие исследователи.

*Пльвинность* песчано-глинистых грунтов анализировалась в работах А.Ф. Лебедева [35], И.В. Попова, И.М. Горьковой, И.В. Дудлера, В.В. Радиной, В.И. Осипова [41], О.В. Аслибекян [1] и др. Так,

например, В.В. Радиной в 1960 г. было открыто явление образования истинных пльвунов, заключающееся в том, что в водонасыщенной дисперсной породе происходит накопление в виде пузырьков газообразных продуктов жизнедеятельности микроорганизмов, которые вызывают избыточное давление в жидкой фазе породы, являющееся энергетическим фактором ее подвижности.

Вопросами природы разжижения песков занимались О.В. Аслибекян [1], Т. Богоевски, М.Н. Гольдштейн [3], П.Л. Иванов [21, 22], К.А. Кожобаев, Н.Н. Маслов [37], В.В. Никулин, В.И. Осипов [41], А.Д. Потапов и др. В 1982 г. были изданы «Рекомендации по оценке плотности и возможности разжижения малосвязных грунтов методом взрывного зондирования». В 1986 г. О.В. Аслибекян было выполнено исследование влияние состава и структурных особенностей песчаных грунтов на их разжижение при вибрации [1].

Виброкомпрессию песчаных грунтов изучали А.С. Алёшин, И.А. Кудрявцев, В.Б. Дубовский, А.Д. Кожевников, В.Н. Кутергин, М. Массух и др.

Не меньшее значение в этот период имели работы по созданию *нормативной базы*, так или иначе связанной с песками, прежде всего для строительства, стекольной и цементной промышленности. Работы по стандартизации в СССР были начаты в 1918 г., когда был осуществлен переход на метрическую систему измерений, и в 1925 г., когда был создан Комитет по стандартизации.

В 1927–1930 гг. был введен «Свод производственных строительных норм», ставший первым нормативным документом в СССР, где, в частности, рассматривались и пески. В рамках этого свода в 1929 г. были введены «Временные правила и нормы проектирования и возведения зданий и сооружений». В 1936 г. были приняты «Нормы по промышленному строительству», состоявшие из трех разделов: «Правила составления чертежей», «Общестроительные расчетные

нормы», «Санитарно-технические нормы». В 1955 г. вступили в силу первые «Строительные нормы и правила» (СНиП). Первые СНиПы были изданы в 1954 г. и были довольно объемные по содержанию. Их структура предусматривала четыре части, в первой из которых, «Строительные материалы, детали и конструкции», в том числе рассматривались и пески. В разработку СНиПов и ГОСТов внесли большой вклад сотрудники ПНИИИСа.

Начиная с 1960-х гг. в СССР были разработаны многочисленные стандарты, ГОСТы и другие нормативные документы, касающиеся использования песков в качестве оснований или среды для инженерных сооружений (ГОСТ 25100) [7], а также в качестве материалов для применения как заполнителей, для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог, оснований взлетно-посадочных полос и перронов аэродромов, обочин дорог, производства кровельных и керамических материалов, рекультивации, благоустройства и планировки территорий и других видов строительных работ. В 1982 г. был принят ГОСТ 25100 «Грунты. Классификация», в котором впервые рассматривались различные виды и разновидности природных и искусственных песков. Впоследствии этот ГОСТ перерабатывался и актуализировался в 1995 и 2011 гг. [7]. В 1983 г. взамен СНиП П-15-74 и СН 475-75 был принят СНиП 2.02.01-83\* «Основания зданий и сооружений»<sup>1</sup>, в котором также рассматривались пески, а в 2011 г. была принята его актуализированная редакция в виде СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений». В 1984 г. вышли «Рекомендации по комплексному изучению и оценке строительных свойств песчаных грунтов» [50].

Ряд ГОСТов и других нормативных документов были разработаны для песков, применяемых в строительной, цементной, силикатной и других видах промышленности. Среди них ГОСТ 8736-2014<sup>2</sup> «Песок для строительных работ. Технические условия» [13], ГОСТ 8735-88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний» [12], ГОСТ 23735-2014 «Смеси песчано-гравийные для строительных работ. Технические условия» [6], ГОСТ 7031-75 «Песок кварцевый для тонкой керамики» [11] и др., предназначенные для применения песка в качестве сырья, заполнителя, для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог, аэродромов и др. [4, 5, 8–10].

Значительное число исследований в этот период было выполнено и в связи с вопросами *технической мелиорации песков*. Среди них необходимо отметить исследования В.В. Аскалонова, В.М. Безрука, Г.В. Богомолова, А.Г. Гаеля, П.Д. Глебова, Л.В. Гончаровой, В.А. Каргина, А.С. Коржуева, П.Ф. Мельникова, С.С. Морозова, Е.Н. Огородниковой, В.В. Охотина, Е.В. Пустовалова, Б.А. Ржаницына, В.И. Сергеева, В.В. Толстопятова, М.М. Филатова и др.

Эти работы по технической мелиорации песков проводились в нескольких направлениях: 1) с целью закрепления и упрочнения песков как оснований

сооружений; 2) с целью снижения фильтрационной проницаемости песков; 3) с целью инженерной защиты территорий и сооружений отдвигающихся песков. При этом в качестве основных вяжущих химических компонентов для песков как закрепителей, применяемых при инъекционном закреплении, рассматривались цемент, смолы (карбамидные, формальдегидные и др.), силикатные растворы, битум и др., а в качестве методов, снижающих фильтрационную проницаемость, — глинизация, цементация, битумизация, силикатизация, смолизация и др. Наряду с этими методами были разработаны и способы физического воздействия на песчаные грунты (термического, электрического, электромагнитного и др.) с целью изменения их характеристик.

В *геокриологическом отношении* на этом этапе также продолжалось специализированное и более углубленное исследование особенностей мерзлых песков. Изучались их фазовый состав влаги, теплофизические свойства, миграция влаги, влияние различных факторов (гранулометрического состава, засоленности, плотности и др.) на их физико-механические свойства. В исследовании особенностей мерзлых песков внесли вклад А.В. Брушков, И.Н. Вотяков, С.Е. Гречищев, Э.Д. Ершов, Т.Н. Жесткова, И.А. Комаров, Ю.П. Лебедеко, Р.Г. Мотенко, Л.Т. Роман, М.И. Сумгин, Н.Г. Трупак, Н.А. Цытович, В.Г. Чеверёв, Е.П. Шушерина и многие другие.

В этот же период получили дальнейшее развитие и исследования песков в области *геодинамики и инженерной геодинамики*. Аэродинамику песков, закономерности их передвижения и формирования эоловых форм рельефа в этот период изучали Б.А. Федорович, А.И. Знаменский, С.В. Вейсов, А.В. Гвоздилов, Р.С. Закиров, Л.Б. Аристархова. Вопросы антропогенной дефляции песков и песчаных почв были освещены в работах Т.Ф. Якубова, А.Г. Гаеля [2], Л.Ф. Смирновой [2], М.И. Долгилевича и др.

Значительный вклад в исследование динамики песков внес Б.А. Федорович. Он принимал участие в экспедициях на Тянь-Шань, по пустыням Туркмении, в Каракумы, в пустыни Северо-Западного Китая (плато Ордос, Алашань, Такла-Макан, Таримская впадина), на Туранскую низменность. В 1953 г. на базе собранного материала он защитил докторскую диссертацию «Пески пустынь, их происхождение, развитие рельефа и вопросы освоения». В 1930–1961 гг. опубликовал целый ряд капитальных монографий по геоморфологии пустынь.

### **Современный период исследований песков (с 1991 г. по настоящее время)**

Этот этап характеризуется дальнейшим обобщением накопленных данных о многообразии песков

<sup>1</sup> Введен в действие в 1985 г.

<sup>2</sup> ГОСТ 8736 впервые был введен в 1985 г., дополнялся в 1995 г.

и их свойств, а также широким внедрением компьютерных технологий в исследование песков, тематическое моделирование их свойств и прогнозирование поведения песков в различных условиях. Особенностью этого периода также является исследование песков в связи с различными *экологическими проблемами*.

Значительным событием в *почвенном отношении* исследования песков явился выход в 1999 г. монографии А.Г. Гаеля и Л.Ф. Смирновой [2], в которой подводился итог их многолетних исследований песков и песчаных почв. Авторами этой монографии был разработан и широко применен комплексный метод изучения песчаных почв с закладкой профилей инструментальной нивелировки с нанесением рельефа, стратиграфии пород, горизонта грунтовых вод и верховодки, почвенного и растительного покровов, разработана методика картирования по типам песков на основе выявленных закономерностей сочетания их в экологических рядах. Профили инструментальной нивелировки, заложенные через долины рек от Забайкалья до Днепра, позволили выявить широкое развитие процессов переноса песка в климатогенные фазы дефляции плейстоцена и в антропогенные фазы дефляции голоцена. Установлен возраст песчаных степных почв в связи с фазами дефляции, их генезис и эволюция: 1) примитивные и маломощные рыхлопесчаные почвы формируются по гумусово-аккумулятивному дерновому типу на наносах песка

антропогенных фаз дефляции в позднем голоцене; 2) дерново-степные среднетощные связнопесчаные почвы с псевдофибрами формировались с начала и в течение всего голоцена на наносах климатогенной дефляции 16–12 (10) тыс. лет назад; 3) черноземовидные мощные супесчаные почвы с ортзандами или без них формировались на древнеаллювиальных или на эоловых песках, навешанных с низких песчаных террас на суглинки высоких надпойменных террас и водоразделов около 65–40, 24–18, 16–12 тыс. лет назад.

В этой же работе были подробно охарактеризованы минералогический, гранулометрический состав, физико-механические, физические и водные свойства песков и легких почв, закономерности движения воды в песках и ее доступность для растений, тепловые свойства песков и др. характеристики [2].

В *инженерно-геологическом* отношении данный период характеризуется новыми обобщающими работами по пескам и углублением изучения их важнейших инженерно-геологических особенностей на базе применения новейших технических средств и инновационных компьютерных технологий.

В 2009 г. вышла из печати монография А.Д. Потапова и др. «Песчаные грунты» (рис. 4) [47]. В первом разделе этой работы авторами были детально проанализированы результаты морфологических исследований песков, их минеральный состав, морфология песчаных зерен, влияние морфологических особенностей песчаных зерен на инженерно-геологические особенности песков.

На основе карты распространения песков П.И. Фадеева 1951 года А.Д. Потаповым и др. [47] была составлена существенно переработанная и дополненная карта распространения песчаных грунтов разного генезиса на территории европейской части России. Составление данной карты облегчалось наличием материалов комплексных съемок, проведенных на тот период Гидропроектом, ГУПРом, Горгидроводхозом, Всесоюзным гидрогеологическим трестом, ВНИИГИМом и другими организациями и отдельными лицами. В результате исследований песчаных грунтов удалось выявить многие качественные и количественные их особенности, ценные в инженерно-геологическом отношении [47].

Второй раздел данной монографии был посвящен явлению разжижения песчаных грунтов. Авторы привели интересные сведения о современных представлениях в области разжижения песков, установили закономерности проявления разжижения песков, охарактеризовали их деформационные и реологические свойства при статическом и динамическом воздействиях, обосновали инженерно-геологическую типизацию изученных песков.

В третьем, заключительном разделе монографии «Песчаные грунты» авторы рассмотрели другое, не менее интересное и важное свойство песков — плавунность. Проанализировав основные факторы, влияющие на плавунность песков, авторы изложили результаты многочисленных экспериментальных исследований проявления плавунности.

В рассматриваемый период были установлены многие закономерности *физических и*

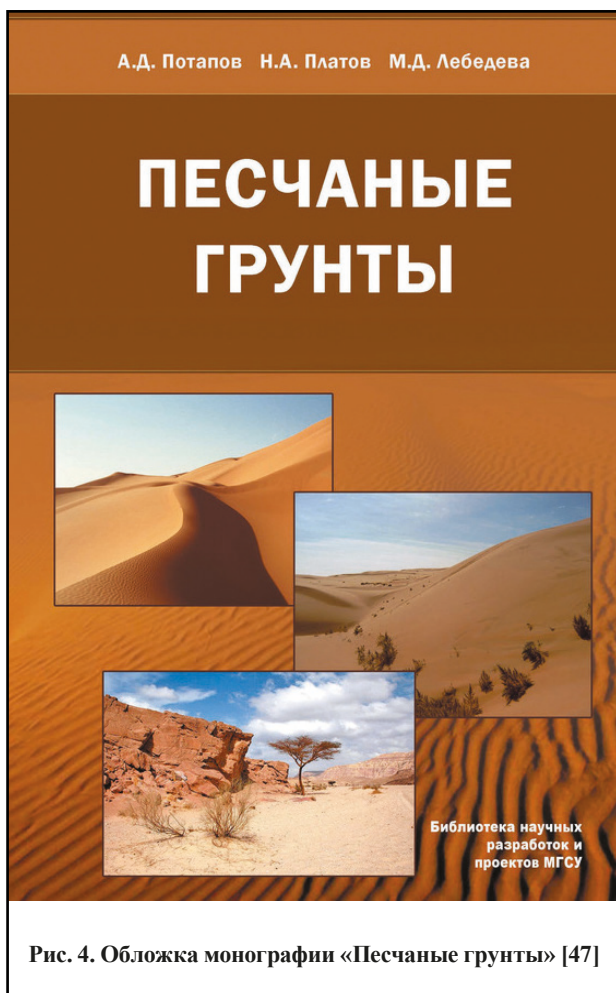


Рис. 4. Обложка монографии «Песчаные грунты» [47]

*физико-химических свойств песков* благодаря работам И.В. Дудлера, В.А. Королёва [27–30], А.Д. Потапова [47], Е.А. Федяевой, Л.Б. Блудушкиной и др.

Так, например, Е.А. Федяевой в 2015 г. была разработана оригинальная комплексная методика определения и анализа с помощью треугольных диаграмм фазового состава параметров неизотермического влагопереноса в не полностью водонасыщенных песках. Ею были установлены закономерности термовлагопереноса в широкой области изменения фазового состава в песках, установлены диапазоны изменения параметров термовлагопереноса, выявлены их зависимости от изменения фазового состава и структурных особенностей песков, установлено, что решающее влияние на эффективность этого процесса оказывает соотношение основных категорий воды, участвующих в переносе влаги. Автором были предложены эмпирические зависимости, основанные на количественном обобщении экспериментальных данных и теории подобия, для прогноза динамики влажности за счет термовлагопереноса в ненасыщенных песчаных грунтах в заданных начальных условиях.

Наряду с этим были выполнены исследования по выявлению закономерностей испарения воды из песков. Были изучены различные факторы, влияющие на испарение воды из песков: минеральный и гранулометрический состав, плотность сложения, степень водонасыщения, концентрация электролита порового раствора, а также внешние метеорологические условия и др. [28].

Экспериментальное изучение *физико-механических свойств* песков в этот период сопровождалось работами по математическому моделированию процессов уплотнения и разрушения песков с различным заполнителем, а также крупнообломочных грунтов с песчаным заполнителем (С.Б. Ухов, З.Г. Тер-Мартirosян, В.В. Семенов, Е.С. Соболев, А.Ю. Мирный [38], Дж. Сантамарина, Г.Р. МакДауэлл, М. Болтон и др.).

При этом компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния таких грунтов рассматривалось не только с традиционных позиций механики однородной сплошной среды, но и с позиций теории дискретной среды, наименее разработанной, но в наибольшей степени отражающей особенности физико-механического поведения дисперсных грунтов, включая пески. В ряде работ взаимодействие песчаных частиц с вмещающей средой отражалось в модели применением контактных элементов с заданными коэффициентом трения, сцеплением и особенностями контакта [38]. Тем не менее, несмотря на большой потенциал применения конечно-элементных комплексов для моделирования многофазных песчаных грунтов, работы в этом направлении практически не проводятся.

Существенный вклад в этот период был сделан в исследование *динамических свойств песков*, в том числе сотрудниками кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова: Е.А. Вознесенским, В.В. Фуниковой, Е.С. Кушнарёвой и др.

В 2002 г. В.В. Фуниковой было установлено

влияние параметров состава и условий нагружения на динамическую устойчивость песчаных и глинистых грунтов. Автором, в частности, было доказано следующее.

1. Динамическая устойчивость песков снижается с увеличением в них концентрации пылеватых и особенно глинистых частиц, что обусловлено формированием слабой и, по всей вероятности, прерывистой коагуляционной структурной сетки, легкое разрушение которой при динамическом воздействии резко снижает сопротивление грунта сдвигу и может приводить к быстрому разжижению даже среднеуплотненных разностей.

2. Динамическая устойчивость дисперсных грунтов, включая пески, в значительной степени определяется частотой воздействия. При этом в области низких сейсмических частот (менее 1 Гц) происходит: а) ускорение деформирования как песчаных, так и глинистых грунтов при увеличении частоты нагружения выше 0,02 Гц, обусловленное возрастанием удельной мощности воздействия; б) частичное тиксотропное восстановление глинистых грунтов при периодах нагрузки более 50 секунд и в) проявление ползучести при частоте нагружения менее 0,001–0,002 Гц. В области вибрационных частот на общую тенденцию увеличения разупрочнения глинистых грунтов с повышением частоты накладывается резонансное усиление этого эффекта, причем отличительной особенностью динамически наиболее



Рис. 5. Обложка монографии «Инженерная геология России» [23]

чувствительных слабосвязных грунтов является наличие нескольких пиков разупрочнения в диапазоне от 10 до 45 Гц.

3. Динамическая устойчивость песчаных грунтов снижается с увеличением начального коэффициента бокового давления, причем влияние этого фактора для плотных водонасыщенных разностей может быть даже более значимым, чем влияние сжимающих напряжений.

В 2008 г. Е.С. Кушнарёвой была защищена диссертация на тему «Устойчивость водонасыщенных песков при динамическом воздействии». Ею было установлено следующее.

1. При прочих равных условиях важнейшее значение для динамической устойчивости водонасыщенных песков имеет размер зерен преобладающей фракции и содержание пылевато-глинистых частиц. Подчиненную роль играют окатанность зерен и наличие на них поверхностных пленок, а влияние неоднородности гранулометрического состава песков и их сортировки не является закономерным.

2. Сравнительной, хотя и качественной характеристикой динамической устойчивости песков, на величину которой влияют все их структурные особенности, может служить уплотняемость (по В.А. Приклонскому). С ее увеличением динамическая устойчивость песков в целом закономерно снижается, причем этот эффект выражен в большей мере для относительно более крупных разностей песков.

3. Среди параметров внешнего воздействия определяющая роль в динамической устойчивости песков принадлежит асимметрии цикла приложенной нагрузки. Для каждого песка существует свое критическое значение коэффициента асимметрии цикла.

4. С увеличением коэффициента бокового давления покоя ( $K_0$ ) в диапазоне от 0,4 до 1,2 динамическая устойчивость песков в целом возрастает. Однако наиболее резкое ее увеличение отмечается при начальном соотношении эффективных напряжений выше 0,8, что требует особого внимания при проведении динамических испытаний. Влияние этого фактора определяется одновременно изменением сжимающих боковых напряжений и величины начальных сдвиговых деформаций, развивающихся в грунте при  $K_0$ , отличном от 1.

5. Развитие деформаций сдвига в водонасыщенных песках любой плотности происходит стадийно.

6. С точки зрения типа поведения песков при статических нагрузках корректнее выделять только плотное и рыхлое сложение относительно критической пористости песка при данном уровне нормальных напряжений.

7. Величина критической пористости песков помимо их дисперсности и величины действующих сжимающих напряжений зависит от скорости приложения сдвигающей нагрузки, что обусловлено особенностями взаимного смещения зерен и их частичным дроблением.

8. По мере накопления деформаций в процессе динамического нагружения в водонасыщенных песках любой плотности возникает состояние, при котором суммарное изменение порового давления и

эффективных напряжений за полный цикл нагрузки равно нулю. Это состояние названо автором нулевой динамической дилатансией и связывается с постепенным формированием в песках зон сдвига постоянной толщины, в которых и локализуется дальнейшее накопление деформаций.

Важным событием этого этапа изучения песков был выход в 2011–2015 гг. трехтомной монографии «Инженерная геология России» (рис. 5) под общей редакцией В.Т. Трофимова [23–25]. В первом томе [23] наряду с другими грунтами была дана всесторонняя инженерно-геологическая характеристика песков как грунтов. В частности, в первой части этой монографии рассмотрены главные факторы формирования состава, строения, состояния и свойств песчаных грунтов, основы методологии их изучения. В последующих трех частях охарактеризованы морфологическое, генетическое и региональное многообразие песчаных грунтов, развитых на территории России. Пятая часть тома посвящена описанию песчаных грунтовых толщ территории страны, а шестая, заключительная — методологии и методам управления состоянием и свойствами песчаных грунтов и грунтовых толщ.

Во втором томе [24] была приведена характеристика геологических и инженерно-геологических процессов и явлений, связанных в том числе и с песчаными массивами. В нем наряду с другими процессами охарактеризованы морфологическое, генетическое и региональное многообразие природных, антропогенно измененных и антропогенно обусловленных геологических процессов, развитых на песчаных массивах территории России. Четвертая часть тома посвящена описанию методологии и методов управления динамикой развития современных геологических процессов, в том числе на песчаных массивах.

В третьем томе [25] наряду с другими грунтами дана региональная характеристика песков и региональных инженерно-геологических структур с их участием.

В географическом отношении современные исследования псаммитовых ландшафтов в последнее время во многом связаны с исследованием процессов деградации и опустынивания в условиях возрастающей антропогенной нагрузки и разработкой комплекса защитных мероприятий по их предотвращению. Данные вопросы раскрываются в работах Л.Х. Биткаевой, В.А. Николаева, И.А. Шиловой, Г.К. Бижановой, З.Г. Залибекова, З.Ш. Шамсутдинова, В.А. Банановой, К.Н. Кулика, Б.В. Виноградова, А.С. Манаенкова, В.И. Петрова, Н.С. Зюзя и других ученых.

Проблема изучения ландшафтно-экологических особенностей песков и оценка степени их антропогенной трансформации сохраняют актуальность и в XXI веке. В последние годы повышенный интерес к этой проблеме связан с процессами опустынивания, охватившими аридные и семиаридные регионы Северной Евразии.

Важной отличительной чертой настоящего этапа исследований песков является их изучение в *эколого-геологическом отношении*. При этом пески согласно

В.Т. Трофимову рассматриваются как компоненты эколого-геологических систем с выявлением их роли и особенностей в формировании экологических функций литосферы [69].

В 2016 г. под редакцией В.Т. Трофимова было опубликовано трехтомное учебное пособие «Эколого-геологические условия России» [57], в котором наряду с другими факторами детально рассмотрена роль песчаных грунтов и песчаных массивов в формировании экологических функций литосферы и их трансформации под влиянием антропогенных воздействий. В этот же период И.Ю. Григорьевой, В.А. Королёвым [29], Г.А. Саркисовым, А.В. Смагиным и др. были выполнены исследования по изучению влияния нефтепродуктов на физические и физико-химические свойства песков, загрязненных нефтепродуктами, а также по оценке доступности в них влаги для растений.

Таким образом, выполненный анализ показывает, что история изучения песков является длительной, самобытной и многообразной. Исторически пески рассматривались в разном отношении и изучались с различных позиций: географических, почвоведческих, общегеологических, геоморфологических, литологических (аренология), инженерно-геологических, геодинамических и, наконец, эколого-геологических. Все эти стороны рассмотрения песков, безусловно, являются взаимосвязанными, влияющими друг на друга и взаимно обогащающими.

## Выводы

Проведенный историко-методологический анализ изучения песков позволяет сделать некоторые выводы.

1. В советский период исследований был достигнут огромный прогресс в инженерно-геологическом исследовании песков как грунтов, которое носило комплексный характер и осуществлялось в тесном взаимодействии с другими научными исследованиями в области географии, почвоведения и литологии, в том числе с учетом зарубежных исследований.

2. К концу советского периода была создана теоретическая и методическая база инженерно-геологического исследования песков в грунтоведческом, геодинамическом и региональном отношениях.

3. Создана обоснованная нормативно-методическая база для исследования и использования песков в разных видах промышленности, которая постоянно дополняется.

4. Современный этап инженерно-геологического исследования песков характеризуется более углубленным изучением песков с помощью новейших технических средств и компьютерных технологий, появлением обобщающих монографических работ, а также разработками эколого-геологической направленности.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-05-00944а*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аслибекян О.В. Влияние состава и структурных особенностей песчаных грунтов на их разжижение при вибрации: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 1986. 17 с.
2. Гаель А.Г., Смирнова Л.Ф. Пески и песчаные почвы. М.: ГЕОС, 1999. 252 с.
3. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов. М.: Стройиздат, 1973. 375 с.
4. ГОСТ 2138-91. Пески формовочные. Общие технические условия. М., 2005.
5. ГОСТ 22551-77. Песок кварцевый, молотые песчаник, кварцит и жильный кварц для стекольной промышленности. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1997.
6. ГОСТ 23735-2014. Смеси песчано-гравийные для строительных работ. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2015.
7. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М.: Стандартинформ, 2013.
8. ГОСТ 29234.12-91. Пески формовочные. Метод определения формы зерен песка. М.: Госстандарт России, 1992. 7 с.
9. ГОСТ 31424-2010. Материалы строительные нерудные от отсевов дробления плотных горных пород при производстве щебня. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2011.
10. ГОСТ 6139-2003. Песок для испытаний цемента. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2015.
11. ГОСТ 7031-75. Песок кварцевый для тонкой керамики. М.: Госстандарт, 1975. 4 с.
12. ГОСТ 8735-88. Песок для строительных работ. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2006.
13. ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2015.
14. Грунтоведение. 6-е изд. / Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е.А., Голодковская Г.А., Васильчук Ю.К., Зиангиров Р.С.; под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 2005, 1024 с.
15. Дементьева О.В. Изучение зависимости физико-механических свойств песков от структурных особенностей песчаных зерен: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: МГУ, 1983, 23 с.
16. Денисов Н.Я. Природа прочности и деформации грунтов / Избр. труды. М.: Стройиздат, 1972. 279 с.
17. Дудлер И.В. Комплексные исследования грунтов полевыми методами. М.: Стройиздат, 1979. 132 с.

18. *Иванов А.Д.* Эоловые пески Западного Забайкалья и Прибайкалья. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1966. 205 с.
19. *Иванов А.Е., Дрюченко М.М.* Комплексное освоение песков. М.: Лесн. промышленность, 1969. 304 с.
20. *Иванов Н.Н., Охотин В.В.* Дорожное почвоведение и механика грунтов. Л.: ОГИЗ, Гострансиздат, 1934. 387 с.
21. *Иванов П.Л.* Разжижение песчаных грунтов. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. 260 с.
22. *Иванов П.Л.* Разжижение и уплотнение несвязных грунтов при динамических воздействиях. М.: Стройиздат, 1978. 246 с.
23. Инженерная геология России. Т. 1: Грунты России / Т.В. Андреева, С.Д. Балыкова, Ю.К. Васильчук и др. / под ред. В.Т. Трофимова, Е.А. Вознесенского, В.А. Королева. М.: Изд-во КДУ, 2011. 672 с.
24. Инженерная геология России. Т. 2: Инженерная геодинамика территории России / В.Т. Трофимов, Э.В. Калинин, Ю.К. Васильчук и др. / под ред. В.Т. Трофимова и Э.В. Калинина. М.: Изд-во КДУ, 2013. 816 с.
25. Инженерная геология России. Т. 3: Инженерно-геологические структуры России / В.Т. Трофимов, Т.И. Аверкина, Т.В. Андреева и др. М.: Изд-во КДУ, 2015. 710 с.
26. *Коломенский Н.В., Приклонский В.А.* Методика изучения способности рыхлых горных пород к уплотнению под действием динамической нагрузки // Тр. ГИН. 1939. Т. IX. С. 211–226.
27. *Королёв В.А.* Термодинамические закономерности формирования фазового состава немерзлых дисперсных грунтов // Инженерная геология. 1989. № 3. С. 17–32.
28. *Королёв В.А., Блудушкина Л.Б.* Влияние степени водонасыщенности грунта и концентрации электролита порового раствора на испарение влаги из песков // Инженерная геология. 2010. № 12. С. 54–59.
29. *Королёв В.А., Саркисов Г.А., Григорьева И.Ю.* Трансформация экологических функций литосферы под влиянием углеводородного загрязнения и ее оценка с помощью кривой водоудерживания грунтов // Инженерная геология. 2016. № 3. С. 46–55.
30. *Королёв В.А., Чжан Шэнжун.* Моделирование песчаных грунтов с заданными физическими и физико-механическими свойствами // Инженерная геология. 2015. № 4. С. 6–14.
31. *Кристенсен Р.* Введение в механику композитов. М.: Мир, 1982. 334 с.
32. *Кулик Н.Ф.* Водный режим песков аридной зоны. Л.: Гидрометеоздат, 1979. 280 с.
33. *Куприна Г.А.* Кольматация песков / под ред. Е.М. Сергеева. М.: Изд-во МГУ, 1968. 173 с.
34. *Куприна Г.А., Сергеев Е.М.* Основные особенности состава и свойств песков Западных Каракумов // Вестн. МГУ. Сер. физ.-мат. и ест. наук. 1953. № 5. С. 121–132.
35. *Лебедев А.Ф.* Природа истинных пльвунов. М.: Волгострой, 1935. № 3.
36. *Логвиненко Н.В., Сергеева Э.И.* Методы определения осадочных пород: учебн. пособие для вузов. Л.: Недра, 1986. 240 с.
37. *Маслов Н.Н.* Условия устойчивости водонасыщенных песков. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1959. 328 с.
38. *Мирный А.Ю.* Механические свойства неоднородных грунтов как оснований и материала земляных сооружений: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МГСУ, 2013. 24 с.
39. *Нерпин С.В., Чудновский А.Ф.* Физика почвы. М.: Наука, 1967. 584 с.
40. *Неуструев С.С.* Песчаные пустыни СССР и их с.-х. значение. М.-Л., 1939. 206 с.
41. *Осипов В.И.* Природа прочности песков // Инженерная геология. 1984. № 3. С. 7–19.
42. *Охотин В.В.* Грунтоведение. Л.: Военно-транспортная академия им. Л.М. Кагановича, 1940. 204 с.
43. *Охотин В.В.* Физические и механические свойства грунтов в зависимости от их минералогического состава и степени дисперсности. М.: Гушосдор, 1937. 120 с.
44. *Петров М.П.* Подвижные пески и борьба с ними. М.: Географгиз, 1950. 454 с.
45. *Платов Н.А.* Исследование природы структурных связей песчаных несцементированных пород различного генезиса в целях их инженерно-геологической типизации: автореф. дис. ... канд. наук. М.: ПНИИС, 1978. 23 с.
46. *Потапов А.Д.* Морфологическое изучение песков в инженерно-геологических целях: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 1984. 24 с.
47. *Потапов А.Д., Платов Н.А., Лебедева М.Д.* Песчаные грунты. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009. 256 с.
48. *Приклонский В.А.* Некоторые данные о способности рыхлых горных пород к уплотнению под действием динамической нагрузки // Тр. ГИН. 1939. Т. IX. С. 227–244.
49. *Радина В.В.* Критическая пористость песка и методы ее определения на сдвижных приборах. В кн.: Вопросы

- геотехники. Сб. 1. М.: Госстройиздат, 1953. С. 59–79.
50. Рекомендации по комплексному изучению и оценке строительных свойств песчаных грунтов. М.: Стройиздат, ПНИИИС, МИСИ, 1984, 213 с.
  51. *Рухин Л.Б.* Основы литологии. Л.: Недра, 1969, 703 с.
  52. *Рябуха А.Г.* Исторические сведения об изученности песчаных земель России и сопредельных государств // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2012. № 4. С. 1–15.
  53. *Сергеев Е.М.* Общее грунтоведение: уч. пособие. М.: Изд-во Московского ун-та, 1952. 383 с.
  54. *Симанович И.М.* Кварц песчаных пород // Труды ГИН АН СССР. 1978. Вып. 314. М.: Наука, 156 с.
  55. *Страхов Н.М.* Основы теории литогенеза: в 3 т. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 1 (Типы литогенеза и их размещение на поверхности Земли). 212 с.; 1960. Т. 2 (Закономерности состава и размещения гумидных отложений). 574 с.; 1962. Т. 3 (Закономерности состава и размещения аридных отложений). 550 с.
  56. *Трацевская Е.Ю.* Закономерности изменения свойств неводонасыщенных песков и супесей в условиях техногенных динамических воздействий: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: МГУ, 1989. 23 с.
  57. *Трофимов В.Т., Харьковина М.А., Барабошкина Т.А. и др.* Эколого-геологические условия России: уч. пособие; в 3 т. / под ред. В.Т. Трофимова. Т. 1: Экологические функции литосферы как природное геологическое образование и их пространственное распределение на территории России. М.: Изд-во КДУ, 2016. 341 с.
  58. *Ухов С.Б. и др.* Механика грунтов, основания и фундаменты. М.: Изд-во АСВ, 2005.
  59. *Ухов С.Б., Конвиз А.В., Семенов В.В.* Механические свойства крупнообломочных песков с заполнителем // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1993. № 1. С. 2–7.
  60. *Фадеев П.И.* Пески СССР. М.: Изд-во Московского университета, 1951. Ч. 1. 290 с.
  61. *Фадеев П.И.* Вопросы терминологии и классификации песчаных пород // В кн.: Вопросы инженерной геологии и грунтоведения. М.: Изд-во МГУ, 1973. Вып. 3. С. 112–121.
  62. *Флорин В.А.* К вопросу о разжижении чистых водонасыщенных мелкозернистых песков // Гидротехническое строительство. 1951. № 7. С. 24–29.
  63. *Флорин В.А.* Явления разжижения и способы уплотнения рыхлых водонасыщенных песчаных оснований // Изв. АН СССР. Отд. техн. наук. 1952. № 5. С. 20–26.
  64. *Фролов В.Т.* Литология. М.: Изд-во МГУ. Кн. 1. 1992. 336 с.; кн. 2. 1993. 432 с.; кн. 3. 1995. 352 с.
  65. *Частоедов Ю.Н.* Количественная оценка влияния состава и структуры песков на их динамическую устойчивость: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ташкент, 1983. 24 с.
  66. *Шванов В.Н.* Песчаные породы и методы их изучения (распространение, структуры, текстуры). М.: Недра, 1969. 248 с.
  67. *Шванов В.Н.* Петрография песчаных пород (компонентный состав, систематика и описание минеральных видов). Л.: Недра, 1987. 269 с.
  68. *Шеин Е.В.* Курс физики почв: учебник. М.: Изд-во МГУ, 2005. 432 с.
  69. Экологические функции литосферы / под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. 432 с.
  70. *Blatt H., Middleton G., Murray R.* Origin of sedimentary rocks. Englewood Cliffs, Prentice-Hall. 1972. № 7.
  71. *Brown J.C.* Depositional histories of sand grains from surface textures. Nature, 1973, 242. № 5397.
  72. *Folk R.L.* Stages of textural maturity in sedimentary rocks. Journal of Sedimentary Petrology. 1951. 21. P. 127–130.
  73. *Folk R.L.* Petrology of sedimentary rocks. Austin, Hempill's Book Store, 1961.
  74. *Krumbein W.C.* 1932 A history of the principles and methods of mechanical analysis. Journal of Sedimentary Petrology, V. 2, № 2. P. 89–124.
  75. *Krynine P.D.* Petrology and genesis of the Third Bradford Sand. Bull. Pennsylvania State Coll., 1940. P. 29.
  76. *Kuenen Ph.H.* Sand — its origin, transportation, abrasion and accumulation. Geol. Soc. S. Africa, 1959.
  77. *Pettijohn F.J., Potter P.E., Siever R.* Sand and Sandstone. 2nd ed. New York, Springer Verlag, 1987. 553 p.
  78. *Proctor R.R.* Fundamental principles of soil compaction. Eng. News Record, 1933; 3/VIII; 7/IX; 28/IX.
  79. *Ricci L.F., Dalla C.G.* Surfaetextures of desert quartz grains. A new attempt to explain the origin of Desert Frosting. J. Geol., 1968, 36, № 2.
  80. *Seed H.B., Lee K.L.* Liquefaction of saturated sands during cyclic loading. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE. 1996 V. 92. № SM6. P. 105–134.
  81. *Seed H.B., Idriss I.M.* A Simplefield Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential, EERC Berkeley, California, № 70–9, 1970. P. 39.
  82. *Terzaghi K.* Soil mechanics in action. Civ. Eng., 1959, 29. P. 69–70.
  83. *Wadell H.* Volume, Shape, and roundness of rock particles. Journal of Geology. 1932. Vol. 40. P. 443–451.
  84. *Zimmermann B.G.* Laboratory determination of optimum soil moisture. Eng. News record, 1935, 13/VI.