



# ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ВЗГЛЯДОВ НА ОЦЕНКУ РОЛИ И СООТНОШЕНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ И ЗОНАЛЬНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ

## HISTORY OF THE DEVELOPMENT OF VIEWS ON THE ASSESSMENT OF THE ROLE AND VALUE OF REGIONAL AND ZONAL GEOLOGICAL FACTORS OF ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS IN REGIONAL STUDIES AND THEIR IMPLICATIONS

**ТРОФИМОВ В.Т.**

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

**КРАСИЛОВА Н.С.**

*Старший научный сотрудник кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, к.г.-м.н., crasilova.nina@yandex.ru*

**TROFIMOV V.T.**

*Head of the department of engineering and ecological geology of the faculty of geology of the Lomonosov Moscow State University, PhD (doctor of science in Geology and Mineralogy), professor, trofimov@rector.msu.ru*

**KRASILOVA N.S.**

*Senior staff scientist of the department of engineering and ecological geology of the faculty of geology of the Lomonosov Moscow State University, PhD (candidate of science in Geology and Mineralogy), Moscow, crasilova.nina@yandex.ru*

### **Ключевые слова:**

*инженерно-геологические условия; региональные геологические факторы; зональные геологические факторы; инженерно-геологические структуры; инженерно-геологические зоны; инженерно-геологические формации; районирование; инженерно-геологическое картографирование.*

### **Key words:**

*engineering-geological conditions; regional geological factors; zonal geological factors; engineering-geological structures; engineering-geological zones; engineering-geological formations; zoning; engineering-geological mapping.*

### **Аннотация**

**В статье рассматривается развитие взглядов на региональные и зональные геологические факторы инженерно-геологических условий. Сформулирован закон зональности инженерно-геологических условий. Охарактеризованы типы и виды инженерно-геологических зон. Изложены теоретические и практические проблемы, которые необходимо было решать с учетом новой глобальной закономерности в распределении инженерно-геологических условий.**

### **О двух позициях в развитии взглядов на проблему, сформулированную в названии темы**

Одно из главных теоретических положений современной инженерной геологии формулируется следующим образом: *современные инженерно-геологические условия любой инженерно-геологической структуры как открытой природной системы сформированы в результате совместного воздействия региональных и зональных геологических факторов, и при анализе данных условий следует оценивать роль обеих указанных групп факторов.* Это положение в общей постановке было теоретически выдвинуто еще И.В. Поповым до 1961 г. [25]. Но на практике еще очень долгие годы в подавляющем большинстве работ при оценке инженерно-геологических условий, например при инженерно-геологическом районировании, учитывались лишь региональные геологические факторы. Примеры этого многочисленны. Такой подход присутствует в том числе в книге «Инженерная геология СССР» И.В. Попова [25, 26] и в восьмитомной монографии «Инженерная геология СССР» [13], удостоенной Ленинской премии в 1982 году. Чем можно объяснить такую ситуацию? Причин тут несколько.

*Во-первых*, недостаточным вниманием специалистов-региональщиков к разработке теоретических вопросов региональной инженерной геологии. Своеобразной «иконой» была книга И.В. Попова «Инженерная геология СССР. Часть I. Общие основы региональной инженерной геологии» [25]. И в силу этого,

### **Abstract**

**This article explains how the views on regional and zonal geological factors of engineering-geological conditions are changed. The law of zoning of engineering-geological conditions is formulated. Types and species of engineering-geological zones are defined. The theoretical and practical items that needed for solution in the light of the new global regularity in the distribution of engineering-geological conditions are exposed.**



видимо, мало кто из инженеров-геологов обращал внимание на то, что описанию и оценке зональных геологических факторов инженерно-геологических условий в этой работе было посвящено лишь около 11 страниц (на десяти из которых рассматривалась зональность грунтовых вод), а региональным факторам было отведено 163 страницы. Иначе говоря, роль зональных геологических факторов была, по существу, не раскрыта в необходимом объеме.

*Вторая причина* связана, скорее всего, с тем, что региональное инженерно-геологическое изучение крупных территорий (Восточно-Европейской платформы, Западно-Сибирской плиты, Сибирской платформы и др.), в пределах которых зональные геологические факторы выражены контрастно, проводилось поэтапно, поэтому обобщающая картина «проявилась» не мгновенно, а лишь через некоторое время. Сыграло свою роль и то, что в разных частях названных структур работали разные исследователи и коллективы, а необходимо было инженерно-геологическое знание особенностей хотя бы одной из названных структур в целом.

*Третья причина*, с точки зрения авторов, заключалась в том, что инженеры-геологи при проведении региональных работ, как правило, использовали так называемую «готовую геологическую основу». На ней были отражены многие (если не все) геологические факторы инженерно-геологических условий (геологическое строение, структурные особенности, характеристика рельефа и др.). После пополнения этих материалов об особенностях распространенных на изучаемой территории грунтов и современных геологических процессов составлялись отчетные документы, включая обзорные инженерно-геологические карты СССР, на которых зональные геологические факторы инженерно-геологических условий фактически не отображались.

*Четвертая позиция* тривиальна: новые подходы принимаются не сразу. Необходимо время — время «привыкания». Это четко проявилось и в региональной инженерной геологии.

Оценивая с современных позиций ход развития взглядов на роль и соотношение региональных и зональных геологических факторов, следует выделить две позиции (в порядке их возникновения):

- признание большинством инженеров-геологов теоретического тезиса «*инженерно-геологические условия обусловлены сочетанием региональных и зональных геологических факторов*», но использование при оценке данных условий лишь первой группы факторов (это наиболее ярко проявилось при разработке карт и схем инженерно-геологического районирования многих крупных геологических регионов и даже территории СССР в целом на основе классификационных признаков, предложенных И.В. Поповым);
- не только признание вышеуказанного тезиса, но и его доказательство при специальном изучении пространственного распределения как региональных, так и зональных факторов инженерно-геологических условий и использование полученных данных при оценочных построениях, в частности при районировании.

Попытки выделить этапы развития этих двух позиций не привели к положительному результату. Первая из них, хотя и сформировалась раньше второй, развивалась и использовалась при региональных построениях даже применительно к территории СССР вплоть до конца XX века. Вторая позиция начала развиваться с конца 1960-х гг., четко оформилась в течение 1970-х гг. и использовалась позже при составлении карт инженерно-геологических условий и карт районирования крупных регионов страны и Земли в целом [10, 12, 17, 21, 29 и др.]. В связи с этим рассмотрим историю развития взглядов на обсуждаемые в данной статье вопросы не по этапам, как это обычно делается в исторических обзорах, а по группам — сначала для региональных факторов, затем для зональных, а в заключение охарактеризуем их соотношение при оценке инженерно-геологических условий на современном этапе.

### **История развития взглядов на содержание региональных геологических факторов инженерно-геологических условий и факторов их формирования**

Основы представлений о региональных геологических факторах инженерно-геологических условий были заложены, как уже отмечалось, И.В. Поповым [24]. Им было доказано, что эти факторы прямо или косвенно управляются ходом тектонического развития земной коры. Позже, развивая это положение, И.В. Попов и Г.А. Голодковская [27] писали, что «результаты действия этих факторов в геологическом прошлом запечатлены в геологическом строении и характере пород и в различных следах действия геологических процессов. Чем более удалено в геологическое прошлое время формирования того или иного элемента геологической среды, тем менее сохранилось влияние на него зональных географических факторов и их инженерно-геологическое значение. Влияние зональных факторов больше сказывается на формировании геологической среды на современном этапе геологического развития земной коры и на современных процессах. Но и на современном геологическом этапе результаты влияния зональных факторов на формирование инженерно-геологических условий в существенной мере определяются характером создавшегося в предшествующее время геологического строения территории и действующих синхронно тектонических процессов. Даже влияние таких резко зонально выраженных факторов, как процессы, связанные с мерзлотой, режим грунтовых вод и другие, зависит от характера пород, образованных когда-то в предшествующее геологическое время» [27, с. 11].

Ведущая роль тектонических процессов в формировании инженерно-геологических условий наиболее доказательно была показана в докторской диссертации Г.А. Голодковской [6]. На примере ряда районов Восточной Сибири ею было рассмотрено влияние тектонических процессов не только на структурный план территории, но и на формирование инженерно-геологических особенностей пород. Г.А. Голодковская установила зависимость между их прочностными характеристиками и принадлежностью к различным струк-

турным этажам, а также уменьшение степени метаморфизма и литификации пород в направлении от нижних структурных этажей к верхним и решающую роль тектонического режима в формировании инженерно-геологических характеристик осадочных терригенных пород.

Н.А. Граве и В.В. Баулин [7] показали, что и для территорий развития многолетнемерзлых толщ региональные факторы (по их определению, морфотектонические особенности территории) определяют региональные особенности развития и распространения мерзлых пород. По этим особенностям авторами работы [7] на территории СССР было выделено несколько крупных регионов: Восточно-Европейская равнина, Западная Сибирь, Среднесибирское плоскогорье, Северо-Восток СССР. Однако и зональные факторы оказали большое влияние на развитие инженерно-геологических условий. Именно они определили условия формирования мерзлых толщ, сказались на характере их строения и распространения. По этим признакам Н.А. Граве и В.В. Баулиным [7] были выделены соответствующие районы внутри каждого региона. Это положение было подтверждено также работами В.А. Лыкова и О.П. Овчинникова [21] для Европейского Северо-Востока.

Н.И. Труш [53], В.А. Кудрявцев и К.А. Кондратьева [19] на примере Алданского района Южной Якутии также показали роль региональных факторов в формировании инженерно-геологических условий. По представлению Н.И. Труш [53], региональные факторы (ход геологического развития) определили следующие специфические региональные особенности инженерно-геологических условий:

- широкое развитие сильно раздробленных метаморфических и магматических пород (и связанной с ними значительной по мощности коры выветривания) и пород карбонатной формации нижнего кембрия, способных к выщелачиванию и карстованию;
- незначительные мощности дисперсных неоген-четвертичных отложений;
- характер рельефа, представляющего собой плоскогорье, глубоко расчлененное «тектонически обусловленными» долинами;
- незначительная роль подземных вод в изменении свойств и состояния кристаллических пород.

Зональные факторы, «наложенные» на эти особенности, определили широкое развитие многолетнемерзлых пород, глубокое сезонное промерзание, существенную роль вод слоя сезонного оттаивания и промерзания в обводненности и изменении свойств рыхлых поверхностных отложений, а также развитие и активизацию разнообразных процессов и явлений, связанных с наличием многолетнемерзлых пород.

С.М. Фотиевым [54] впервые были вскрыты особенности формирования сплошного, прерывистого и островного распространения толщи многолетнемерзлых пород Сибири. При этом он отмечает, что в пределах Восточной Сибири на эти особенности существенное влияние оказывают такие региональные факторы, как активность неотектонических движений и карбонатный состав водовмещающих пород.

Во всех этих и многих более поздних работах роль региональных геологических факторов в формирова-

нии как инженерно-геологических условий в целом, так и их отдельных компонентов признавалась как решающая. В соответствии с этим при оценке современных инженерно-геологических условий ведущая роль отдавалась тектонике, тектоническому строению и наиболее крупные таксоны выделялись при районировании по этому признаку. При этом границы регионов, называемых инженерно-геологическими, брались по региональным тектоническим картам, на которых *переработка структур в новейшее время не отражалась*. На первых этапах развития инженерной геологии такой подход, скорее всего, был уместен. Но с развитием неотектоники и появлением неотектонических карт был необходим переход на новые позиции, т.е. *детальный учет истории развития структур в новейшее время и проведение границ на основе новых — неотектонических — признаков*. И такой переход был сделан.

Так, в работах [2, 5, 10] по Западной Сибири и [7] по Восточной была рассмотрена роль новейших тектонических движений в формировании разных факторов инженерно-геологических условий. Для территории Западной Сибири была установлена роль характера и интенсивности новейших тектонических движений в формировании рельефа, мощности четвертичных отложений, их литологического состава. В областях поднятий и горообразования на территории Восточной Сибири дифференциация новейших движений позволила установить закономерности в строении склонов и склоновых отложений, в развитии в них различных процессов. Последующие работы [1, 10, 12, 46] по инженерно-геологическому районированию территории СССР, России и Земли были выполнены на основе *совместного учета региональных и зональных геологических факторов инженерно-геологических условий, при этом первая группа факторов была представлена неотектоническими классификационными признаками разного уровня*.

Отметим, что масштабность роли региональных факторов формирования инженерно-геологических условий была суммирована В.Т. Трофимовым и Т.И. Аверкиной в работе [45]. Рассмотрев историю геологического развития различных типов тектонических структур земной коры (древних и молодых платформ, орогенов, рифтовых зон, активных континентальных окраин, океанических структур), авторы книги [45] наглядно продемонстрировали ведущую роль тектонических процессов (включая новейшие и современные) в формировании современного инженерно-геологического облика разных структурных зон. Эти процессы обуславливают формирование и распространение пород определенного петрографического состава, их мощность, выдержанность по площади, перерывы в осадконакоплении. От них зависит характер залегания пород, образование пликативных (складчатых) и дизъюнктивных (разрывных) нарушений, вторичной трещиноватости пород и т.д. Особо подчеркивается роль новейших движений, с которыми связаны современные геоморфологические условия, глубина расчленения рельефа, строение и развитие новейших континентальных отложений. Современные движения в значительной степени



определяют особенности напряженного состояния различных участков земной коры и всецело контролируют степень сейсмичности территорий. К складчатым и разрывным нарушениям, зонам концентрации напряжений, определенным геоморфологическим элементам и комплексам пород приурочены определенные наборы геологических процессов (хотя, конечно, нельзя забывать, что проявление экзогенных процессов во многом зависит и от зональных и техногенных факторов).

### **История развития взглядов на содержание зональных геологических факторов инженерно-геологических условий и факторов их формирования**

#### *История развития взглядов на зональный характер распределения разных факторов инженерно-геологических условий*

Содержание и роль зональных геологических факторов инженерно-геологических условий рассматривались в литературе в разных аспектах и по отношению к разным объектам исследований: распространению четвертичных отложений, грунтовых вод, их свойствам, многолетнемерзлым породам, грунтовым толщам, современным геологическим процессам, инженерно-геологическим условиям в целом. Кратко остановимся на всех этих вопросах.

*Зональный характер распространения четвертичных отложений* европейской части СССР был описан Н.И. Николаевым [24] и И.В. Поповым [25, 26]. В.Т. Трофимовым [31] он был охарактеризован для Западно-Сибирской плиты. Во многих работах рассматривалась зональность распространения, состава и свойств лессовых пород. Для Узбекистана эти вопросы наиболее полно были освещены в работах Г.А. Мавлянова и др. В.С. Быкова [3] охарактеризовала определенные закономерности распространения, условий залегания и состава и инженерно-геологических особенностей лессовых пород Русской равнины, Западной Сибири, горных областей Кавказа, Сибири, Средней Азии и Казахстана. Она показала, что для платформенных территорий наиболее четко выражена широтная зональность этих показателей, а для горных районов — высотная поясность. Это дало В.С. Быковой возможность выделить три широтные зоны распространения лессовых пород на территориях Русской и Западно-Сибирской плит. Ею было показано, что для каждой выделенной зоны характерен свой набор наиболее часто встречаемых признаков лессовых пород — преимущественное распространение определенных генетических типов и возрастных горизонтов, их мощность и характер ее изменения, особенности состава и свойств. Отмеченную зональность В.С. Быкова связывала с региональными и зональными особенностями этих территорий — геологическим строением, историей геологического развития (оледенением), неотектоническими движениями, общей географической и климатической зональностью и рельефом. Эти закономерности хорошо проявляются на картах распространения лессовых пород на территории СССР масштабов 1:13 000 000 (1970 г.) и 1:2 500 000 (1989 г.).

*Зональность грунтовых вод* как фактор инженерно-геологических условий была описана И.В. Поповым [25] для Русской плиты и всей территории СССР на основе фундаментальных разработок А.К. Ланге, А.Н. Семихатова и В.И. Духаниной.

Эти же вопросы были рассмотрены В.Т. Трофимовым [31] для территории Западно-Сибирской плиты. Он показал закономерности расположения поясов и зон грунтовых вод, их минерализации, глубин залегания и агрессивности по отношению к бетону.

Интересна работа Э.И. Колота и др. [15], в которой показано инженерно-геологическое значение зональности глубин залегания и агрессивности грунтовых вод для территории Украины. При этом авторы работы [15] отмечают, что для равнинно-платформенной части исследуемой территории характерна широтная зональность в распределении этих показателей, четко связанная с современными климатическими особенностями, а для горно-складчатых областей (Крым, Карпаты) имеется их прямая зависимость от структурно-литогенных особенностей.

Наиболее полно вопросы зональности инженерно-геологических условий были освещены для *территории распространения многолетнемерзлых пород (ММП)*. Возможность использования температуры пород для отражения мерзлотных условий и ее закономерная связь с зональными факторами формирования ММП позволили В.А. Кудрявцеву [18] выделить на территории СССР пять мерзлотно-температурных зон, наличие которых обусловлено климатической составляющей температурного поля. Вопросы зональности распространения ММП рассматривались также в работах [54] для Восточной Сибири, [2, 22, 23, 31, 32, 35-40, 42, 43] для Западной Сибири, [23] для Полярного Урала и северо-востока Восточной равнины, [14] для северо-востока Европейской равнины, [20] для всей территории СССР и в других. Авторы последней работы составили карту масштаба 1:2 500 000, на которой выявлены наиболее общие зональные и региональные закономерности распространения криолитозоны. Широтная и поясная зональность в распространении сезонно- и многолетнемерзлых пород была описана М.М. Шацем [56] для Алтае-Саянской горной страны.

*Зональность грунтовых толщ* как важнейший атрибут инженерно-геологических условий платформенных регионов активно исследовалась в 70–80-х гг. прошлого столетия [9, 29, 31, 51, 52 и др.]. В качестве важнейших документов, в которых отражены полученные закономерности, назовем Карту грунтовых толщ Западно-Сибирской плиты масштаба 1:1 500 000 (1972 г.) и Карту грунтовых толщ европейской части СССР масштаба 1:1 500 000 (1986 г.).

В значительном числе работ обсуждались вопросы *зональности формирования и распространения современных геологических процессов*. Одним из первых их рассмотрел Н.И. Николаев [24]: он составил схему распространения современных геологических процессов по климатическим областям (рис. 1), а не по составу и состоянию грунтовых толщ. Зональный характер распространения современных геологических процессов для Западной Сибири отмечала А.С. Герасимова [4], для территории Перу — Х. Ла Торре Уго, Т. Рамос Видаль (1979 г.).

И.В. Попов и Н.П. Костенко [28] показали, что зональные факторы влияют на условия возникновения склоновых процессов и характер их проявления путем изменения физического состояния пород. Г.С. Золотарев (1975 г.) на примере Большого Кавказа рассмотрел роль региональных и зональных факторов в развитии выветривания, формировании состава и свойств элювиальных отложений.

Большой интерес представляет в этом плане Карта развития и прогноза современных геологических процессов на территории СССР масштаба 1:7 500 000, составленная М.В. Чуриновым, И.М. Цыпиной и В.П. Лазаревой [55], на которой четко проявляется зональность в развитии комплексов главных современных процессов.

Закономерности зонального формирования и распространения современных геологических процессов рассмотрены в серии работ В.Т. Трофимова и др. [31, 57] по территории Западно-Сибирской плиты. В этих публикациях комплексы процессов охарактеризованы для различных зон грунтовых толщ (рис. 2).

Исследования зональности формирования и распределения вышеназванных факторов инженерно-геологических условий поставили на рубеже 60–70-х гг. прошлого века на повестку дня вопрос о необходимости изучения *зональности инженерно-геологических условий в целом*. В ходе этих работ были выдвинуты принципиально новые теоретические положения. И они были доказаны огромным экспериментальным региональным материалом.

**Введение понятия «зональность инженерно-геологических условий» и ее отражение в региональных таксономических единицах**

Понятие «зональность инженерно-геологических условий» было введено В.Т. Трофимовым [36, 37]. Оно прочно вошло в теорию и практику региональной ин-

женерной геологии в 1970-х гг. Существенный вклад в развитие данного вопроса внесли работы И.С. Комарова [16], Е.С. Мельникова [22] и др. Под указанным термином было предложено [30, 40] понимать *один из типов пространственного изменения инженерно-геологических условий, выражающийся в их закономерной широтной трансформации в пределах равнинных или платообразных платформенных регионов континентов Земли и широтно-высотной (высотно-поясной) — в пределах орогенных горно-складчатых регионов*. Такой характер изменений был показан на примерах Западно-Сибирской плиты, Русской плиты, Кавказа и всех континентов Земли [30–40, 42–45].

В итоге в региональной инженерной геологии было сформировано *учение о зональности инженерно-геологических условий*. В наиболее полном виде оно изложено в монографии [33]. В ней показано, что зональность инженерно-геологических условий свойственна всем структурным зонам земной коры. Но наиболее отчетливо она проявляется в пределах платформ, вытянутых на значительные расстояния с севера на юг, и особенно четко — на территориях плит молодых платформ, верхняя часть разреза которых сложена слаболитифицированными позднекайнозойскими отложениями, свойства которых чрезвычайно зависят от степени их увлажнения и фазового состояния содержащейся в них влаги.

На примере территории Западно-Сибирской плиты и других регионов было показано, что все факторы инженерно-геологических условий отчетливо изменяются от северных районов к южным и с увеличением высоты над уровнем моря, что объясняется естественно-историческими причинами, в первую очередь историей геологического развития в средне- и позднечетвертичное время, климатическими особенностями всего позднего голоцена, а также характером современной теплообеспеченности и увлаж-

Процессы	Гумидная тропическая область	Горная область	Аридная область	Гумидная умеренная область	Нивальная область
Выветривание механическое	---	▨	▨	---	▨
Выветривание химическое	▨	---	---	▨	---
Гравитационный	---	---	---	---	---
Гляциальный	---	▨	---	---	▨
Эрозионный	▨	▨	---	▨	---
Делювиальный	▨	---	▨	▨	---
Солифлюкционный	▨	▨	---	---	▨
Абразионный	---	---	---	---	---
Коррозионный	---	---	---	---	---
Суффозионный	---	---	---	---	---
Золовый	---	---	▨	---	▨
Антропогенный	▨	▨	---	▨	---

Рис. 1. Схема распределения современных геологических процессов по климатическим областям [24]



ненности территории. Именно различный приток тепла и влаги (и их разное соотношение) является главной причиной, которая обуславливает формирование различных инженерно-геологических условий на разных широтах и высотах в пределах одинаковых в структурно-геологическом отношении территорий. Именно с этой причиной связано неодинаковое фазовое состояние и количество воды в грунтах, что отражается на их свойствах (особенно в дисперсных грунтах). Также очевидно влияние этого зонального фактора на гидрогеологические особенности верхней части разреза (содержание воды, ее фазовое состояние, тип, глубина залегания, минерализация, химизм, агрессивность), а также на особенности развития комплекса современных экзогенных геологических процессов и на их интенсивность.

Зональность инженерно-геологических условий является неотъемлемой частью зональности природной обстановки Земли, исходные положения которой разработаны В.В. Докучаевым. Однако, как показал В.Т. Трофимов [33], зональность инженерно-геологических условий не следует отождествлять с зональностью ландшафтных условий (ландшафтов) или географической зональностью, т.к. два последних понятия по содержанию и объему коренным образом отличаются от первого. Понятие «зональность инженерно-геологических условий» не следует подменять также понятием «зонально-географические особенности инженерно-геологических условий», поскольку зональность инженерно-геологических условий — явление геологическое. В.Т. Трофимов подчеркивал также, что зональность инженерно-геологических условий не следует отождествлять с современной природно-климатической зональностью. Эти понятия различны не только по содержанию и объему, но и по характеру причинно-следственных связей. Зональность природно-климатических условий является во

многом определяющей по отношению к зональности инженерно-геологических условий.

Для отражения зонального характера изменений инженерно-геологических условий и учета его при инженерно-геологическом районировании было введено понятие «инженерно-геологическая зона». Первоначально под ней было предложено понимать крупную часть региона, в пределах которой современное состояние пород грунтовой толщи является достаточно однотипным с инженерно-геологических позиций и регионально выдержанным. В более поздней редакции это определение было уточнено с учетом иерархии таксономических единиц системы однорядного (последовательного) районирования и представлено в следующем виде: инженерно-геологическая зона — это крупная часть инженерно-геологического региона или провинции, в пределах которой современное состояние пород в разрезе грунтовой толщи, обусловленное главным образом особенностями фазового состояния содержащейся в них воды, с инженерно-геологических позиций является однотипным и регионально выдержанным [38].

Различия в современном состоянии пород, обусловленные неодинаковыми теплообеспеченностью и увлажненностью разных частей однородных в структурно-геологическом отношении территорий, влекут за собой существенные различия в гидрогеологических особенностях в верхней части разреза инженерно-геологических зон, а также обуславливают различный характер комплексов современных экзогенных геологических процессов. Все это в конечном итоге делает чрезвычайно разными инженерно-геологические условия различных зон.

Первоначально было предложено выделять четыре типа инженерно-геологических зон: (1) практически сплошного распространения ММП; (2) несплошного (прерывистого) распространения ММП; (3) распро-

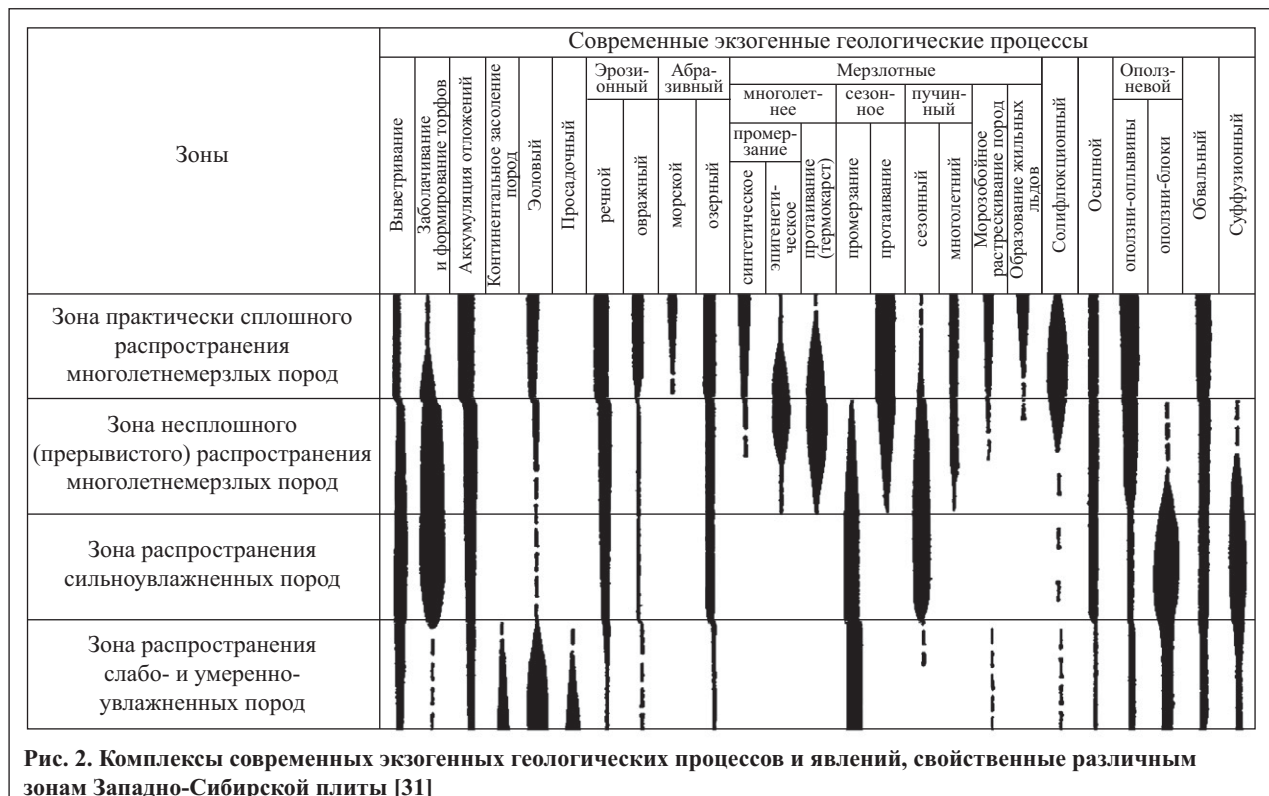


Рис. 2. Комплексы современных экзогенных геологических процессов и явлений, свойственные различным зонам Западно-Сибирской плиты [31]

странения сильно увлажненных пород; (4) распространения слабо и умеренно увлажненных пород. Было показано, что каждая из них характеризуется специфическими инженерно-геологическими особенностями [36].

Последующие работы позволили усовершенствовать эти представления и предложить более полную систематику на уровне инженерно-геологических зон. Были выделены три типа инженерно-геологических зон (см. таблицу): (I) практически сплошного распространения ММП; (II) совместного распространения многолетнемерзлых и талых пород; (III) распространения талых и немерзлых пород. Первая зона приурочена к высоким широтам Земли, вторая расположена на севере умеренного пояса, а третья охватывает большую часть площади континентов.

В пределах первого типа выделяют следующие виды зон: практически сплошного распространения ММП; распространения ледников и ММП. Ко второму типу относят зоны: массивно-островного и островного распространения ММП (многолетнемерзлые образования занимают 30–95% площади); редкоостровного распространения ММП (менее 30% площади). В третьем типе выделяют следующие виды зон: распространения сильно увлажненных пород; распространения слабо и умеренно увлажненных пород. Два последних вида занимают обширные территории в низких и средних широтах, а также в средне- и низкогорьях. В первую очередь это относится к зоне распространения сильно увлажненных пород, которая объединяет огромные площади в районах умеренного, субтропического и тропического климата. Характеристика типов и видов инженерно-геологических зон и признаки проведения границ между ними в данной статье не приводятся. В наиболее полном объеме это сделано в работе [33]. Подчеркнем лишь три позиции.

1. Границы инженерно-геологических зон связаны с определенными значениями радиационного индекса сухости и радиационного баланса, а в пределах широт с одинаковыми диапазонами последнего — только с первым показателем. В дополнение лишь добавим, что граница между зонами распространения сильно

увлажненных пород и слабо и умеренно увлажненных пород проходит в районе изолинии, соответствующей величине радиационного индекса сухости 0,9.

2. Закон зональности инженерно-геологических условий континентов Земли сформулирован следующим образом: зональное изменение инженерно-геологических условий континентов Земли выражается в их закономерной горизонтальной и вертикальной (высотной) трансформации и определяется современными теплообеспеченностью и влагообеспеченностью и их соотношением.

3. Зональность инженерно-геологических условий континентов — явление глобальное. Его нужно учитывать как при общетеоретических построениях, так и при проведении инженерно-геологических изысканий.

Для обобщения сведений о зональности инженерно-геологических условий континентов Земли была разработана [33] модель распределения инженерно-геологических зон на идеальном континенте (рис. 3). При сравнении рис. 3, а и 3, б видно, что границы географических и инженерно-геологических зон существенно отличаются друг от друга. Это сравнение свидетельствует о том, что названные зоны — явления по своему содержанию различные, хотя и обусловленные одной причиной — характером тепло- и влагообеспеченности. Инженерно-геологические зоны, формирование которых обусловлено геологическими причинами (в т.ч. историей геологического развития в позднечетвертичное время) и современными климатическими особенностями, коренным образом отличаются от географических (ландшафтных) зон по своему содержанию и свойствам и гораздо шире их в территориальном отношении.

### **Изменение позиций во взглядах на оценку роли и соотношение региональных и зональных геологических факторов инженерно-геологических условий, обусловленные их зональностью**

Установление и описание новой, глобальной, закономерности в пространственном распределении (зональности) инженерно-геологических условий повлекли за собой как неизбежное следствие необходимость решения новых теоретических вопросов и практических задач. Главное из них — появление целого ряда работ, в которых действительно было реализовано одно из главных положений инженерной геологии: современные инженерно-геологические условия любой инженерно-геологической структуры как *открытой природной системы* сформированы совместным воздействием региональных и зональных геологических факторов их формирования, и при их анализе следует оценивать роль обеих этих групп факторов. В доказательство этого приведем следующие позиции.

*Позиция 1.* Установление зональности инженерно-геологических условий континентов Земли потребовало принципиального развития теоретических оснований региональной инженерной геологии, сформированных на этапе ее становления [25]. Главные направления этой работы — новые аспекты (а может быть, и «центры тяжести») исследования истории

Таблица

Типы и виды инженерно-геологических зон (по [38])		
№	Инженерно-геологические зоны	
	Тип	Вид
I	Практически сплошного распространения ММП	А. Практически сплошного распространения ММП
		Б. Распространения ледников и ММП
II	Совместного распространения многолетнемерзлых и талых пород	В. Массивно-островного и островного распространения ММП
		Г. Редкоостровного распространения ММП
III	Распространения талых (и немерзлых) пород	Д. Распространения сильно увлажненных пород
		Е. Распространения слабо и умеренно увлажненных пород

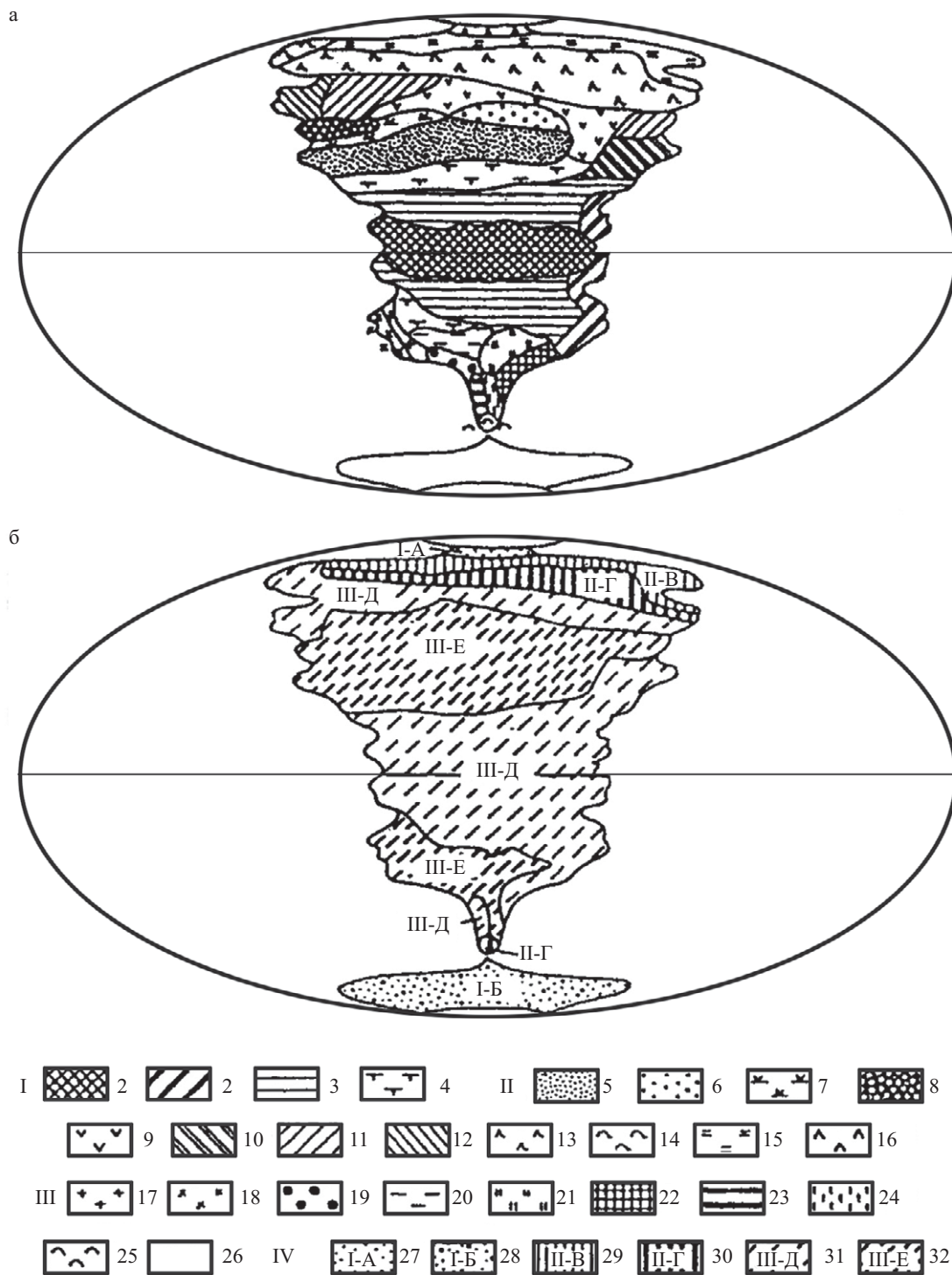


Рис. 3. Географические (а) и инженерно-геологические (б) зоны на идеальном континенте [33]. Условные обозначения: 1–4 — тропические зоны: 1 — экваториальный дождевой лес, 2 — тропические дождевые леса, развитые в области пассатных орографических осадков, 3 — тропические саванны (влажные саванны) и листопадные леса, 4 — тропические колючие степи и колючие леса; 4–16 — внетропические зоны Северного полушария: 5 — сухие пустыни, 6 — холодные внутриматериковые пустыни, 7 — субтропические зимнезеленые степи, 8 — зона зимних дождей с жарким летом, 9 — зона травяных степей с холодной зимой, 10 — зона влажных муссонных и лавровых лесов с жарким летом, 11 — летнезеленые леса, 12 — океанические летнезеленые листопадные и лавровые леса, 13 — бореальные березовые леса, 15 — субарктические тундры, 16 — арктические пустыни; 17–26 — внетропические зоны Южного полушария: 17 — прибрежные пустыни, 18 — пустыни, развитые в пределах пояса «гаруа», 19 — зона зимних дождей, 20 — субтропические колючие степи Карру, Монте, 21 — субтропические злаковники, 22 — субтропические дождевые леса, 23 — умеренные холодные дождевые леса, 24 — степи Патагонии и Новой Зеландии, 25 — субантарктические туссоковые луга и болота, 26 — антарктическая область материкового ледника; 27–32 — виды инженерно-геологических зон: 27 — зона практически сплошного распространения ММП, 28 — зона распространения ледников и ММП, 29 — зона массивно-островного и островного распространения ММП, 30 — зона редкоостровного распространения ММП, 31 — зона распространения сильно увлажненных пород, 32 — зона распространения слабо и умеренно увлажненных пород



формирования инженерно-геологических условий [11, 13, 31], их пространственного распределения [12, 13, 41], создания новых моделей инженерно-геологических условий [50] и моделей их эволюции в эпоху тектогенеза, изучения инженерно-геологических условий на уровне отдельных континентов и Земли в целом [11, 12, 32, 33, 36, 58 и др.].

*Позиция 2.* Установление описанного явления потребовало поиска принципиально новых путей обособления иерархического ряда определенных объемов литосферы, обладающих определенными инженерно-геологическими особенностями, обусловленными взаимодействием региональных и зональных геологических факторов. Был введен термин «*инженерно-геологическая структура*» и предложена иерархия и классификация таких структур с учетом глобальных особенностей их распределения [1, 44, 45, 47]. Под этим термином было предложено понимать *закономерно организованные объемы (части) геологического пространства, сформированные под действием определенных региональных и зональных факторов и однородные по каким-либо инженерно-геологическим параметрам*. В развитие этого положения были сформулированы признаки обособления инженерно-геологических супер-, мега-, макро- и мезоструктур, поставлен вопрос об их парагенетических рядах и предложена их классификация применительно к объему всей Земли.

*Позиция 3.* Разработка проблемы зональности инженерно-геологических условий континентов Земли стимулировала постановку вопроса об инженерно-геологических формациях. В.Т. Трофимовым [34] было показано, что *инженерно-геологическая формация — это полипородное многокомпонентное геологическое тело, включающее взаимодействующие твердую, жидкую и газообразную составляющие, объединяющие парагенетически связанные между собой геологические тела меньшего объема, сформировавшиеся в определенных тектонических и климатических условиях, претерпевшие впоследствии, в ходе геологической истории, воздействие одних и тех же геологических процессов и находящиеся в настоящее время в однотипном и регионально выдержанном состоянии (обусловленном фазовым состоянием и содержанием жидкого компонента)*.

Соотношение объемов геологической и инженерно-геологической формаций может быть различным. В крайней ситуации они могут совпадать — когда породы, слагающие геологическую формацию, находятся в одинаковом состоянии (например, если отложения терригенной формации верхнеплиоцен-четвертичного или палеогенового возраста находятся в многолетнемерзлом состоянии). Однако в большинстве случаев объем геологической формации больше, поскольку разные ее части в настоящее время могут находиться в разном состоянии (например, часть — в многолетнемерзлом, а часть — в немерзлом) и, исходя из предложенного подхода, должны быть обособлены в виде разных инженерно-геологических формаций.

Разработка классификации инженерно-геологических формаций — дело сложное, особенно в условиях смены парадигмы в геологии, когда ранее соз-

данное учение о геологических формациях требует научного переосмысления. Но инженеры-геологи начали эту работу.

*Позиция 4.* Наличие зональности инженерно-геологических условий континентов Земли потребовало *существенных корректив теоретических и методических основ инженерно-геологического районирования* — одного из основных методов систематизации данных о пространственных закономерностях изменения условий. Были обоснованы два пути учета этих закономерностей [38, 48]. Первый из них — использование системы однорядного (последовательного) генетико-морфологического инженерно-геологического районирования, в которой «общепринятый» ряд таксономических единиц дополнен инженерно-геологическими зоной и подзоной, что позволило учесть зональное изменение инженерно-геологических условий. Второй путь — использование двурядной (перекрестной) системы районирования, при котором региональные геологические факторы рассматриваются по одной оси классификационной таблицы-матрицы, а зональные геологические — по другой. Производные единицы, как бы представляющие клетки разного объема (порядка), являются таксонами инженерно-геологического районирования, особенности которых обусловлены взаимодействием двух названных групп факторов.

Обе эти системы инженерно-геологического районирования используются в практической работе. Первая имеет ряд преимуществ при проведении регионального инженерно-геологического районирования одного, хотя и очень крупного по площади, региона. Вторая имеет несомненные преимущества при районировании нескольких регионов, в т.ч. при типологическом.

*Позиция 5.* Установление зональности как одной из форм пространственного изменения инженерно-геологических условий потребовало *разработки новых приемов составления карт инженерно-геологических условий* (и синтетических, и аналитических, в первую очередь обзорных и мелкомасштабных) и *инженерно-геологического районирования*. Эта задача была успешно решена и позволила создать принципиально новые инженерно-геологические карты [11, 27, 44]. В полной мере данная позиция отражена в составленной по заданию Федерального агентства «Роснедра» Современной карте инженерно-геологических условий территории Российской Федерации масштаба 1:2 500 000 и в аналогичной карте инженерно-геологического районирования [17].

Можно было бы продолжить этот ряд. Но уже перечисленное убедительно свидетельствует о том, что установление зональности инженерно-геологических условий имело принципиальное значение для развития теоретических положений региональной инженерной геологии. Различия в инженерно-геологических условиях выделенных зон имеют и важное прагматическое значение: необходимо решать разные задачи в процессе инженерно-геологических исследований и изысканий, применять разные методы их проведения, а также использовать разные приемы при строительстве. Все названные позиции достаточно подробно охарактеризованы в [33].



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аверкина Т.И.* Инженерно-геологическое районирование Северной Евразии на основе сопряженного учета региональных и зональных геологических факторов: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 1994. 21 с.
2. *Баулин В.В.* О влиянии тектонического строения территории на мерзлые породы (на примере бассейна среднего течения р. Ныды, Западная Сибирь // Мерзлотные исследования. 1978. № 17. С. 157–168.
3. *Быкова В.С.* Распространение, условия залегания лессов и лессовидных пород СССР и их инженерно-геологическая характеристика // Труды ПНИИИС. 1972. № 19. С. 4–10.
4. *Герасимова А.С.* Современные геологические процессы нижнего Приобья и их инженерно-геологическое значение: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: Изд-во МГУ, 1960. 20 с.
5. *Герасимова А.С., Ершова С.Б., Коцериба Л.А.* Значение неотектоники при инженерно-геологическом районировании Западной Сибири // Тектонические движения и новейшие структуры земной коры. М.: Недра, 1967.
6. *Голодковская Г.А.* Региональное инженерно-геологическое изучение территории на основе геолого-структурного анализа: автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. М.: Изд-во МГУ, 1968. 46 с.
7. *Голодковская Г.А., Костенко Н.П.* О роли неотектоники при инженерно-геологическом районировании // Тектонические движения и новейшие структуры земной коры. М.: Недра, 1967. С. 137–144.
8. *Граве Т.А., Баулин В.В.* Региональные закономерности развития мерзлых толщ в СССР // Материалы 2-й Международной конференции по мерзлотоведению, Якутск, 1973 г. Вып. 8. Якутск: Якутское книж. изд-во, 1975. С. 46–56.
9. *Груздов А.В., Зилинг Д.Г.* Типизация грунтовых толщ нечерноземной зоны европейской части РСФСР и возможности ее применения при гидромелиоративном строительстве // Инженерная геология. 1980. № 3. С. 16–2.
10. *Ершова С.Б.* Анализ новейших движений при инженерно-геологическом районировании (на примере Западно-Сибирской плиты). М.: Изд-во МГУ, 1976. 143 с.
11. *Ершова С.Б.* Основные положения инженерно-геологической типизации поверхности земного шара // Инженерная геология. 1979. № 3. С. 31–43.
12. *Ершова С.Б.* Проблемы типизации и районирования инженерно-геологических условий Земли и территории Советского Союза // Проблемы инженерной геологии. М.: Наука, 1991. С. 243–250.
13. Инженерная геология СССР. Т. 1–8. М.: Изд-во МГУ, 1976–1978.
14. *Какунов Н.Б.* О распространении многолетнемерзлых пород на Европейском Северо-Востоке // Вопросы изучения режима подземных вод и инженерно-геологических процессов в районах распространения многолетнемерзлых пород. Сыктывкар, 1975. С. 126–135.
15. *Колот Э.И., Пономарев Е.С., Сурдутович О.И. и др.* Опыт инженерно-геологической типизации территории Украины по глубине залегания и агрессивности грунтовых вод // Известия Днепропетровского отделения Украинского географического общества. 1973. Вып. 3. С. 106–113.
16. *Комаров И.С.* Основы комплексного метода инженерно-геологического изучения равнинных территорий, покрытых чехлом четвертичных отложений: автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. М., 1966. 46 с.
17. *Круподеров В.С., Трофимов В.Т., Чекрыгина С.Н.* Научно-методические подходы и принципы составления современной инженерно-геологической карты России масштаба 1:2 500 000 // Разведка и охрана недр. 2008. № 6. С. 24–26.
18. *Кудрявцев В.А.* Температура верхних горизонтов вечномерзлой толщи в пределах СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 182 с.
19. *Кудрявцев В.А., Кондратьева К.А.* Мерзлотно-гидрогеологическая карта Южной Якутии в масштабе 1:2 500 000 // Мерзлотные исследования. 1967. Вып. 7. С. 98–112.
20. *Кудрявцев В.А., Кондратьева К.А., Романовский Н.Н.* Зональные и региональные закономерности формирования криолитозоны СССР // Труды 3-й Международной конференции по мерзлотоведению. Т. 1. Оттава, 1978. С. 527–532.
21. *Лыков В.А., Овчинников О. П., Сиходольский С.Е.* Мерзлотно-инженерно-геологическое районирование Европейского Северо-Востока // Особенности геологического строения Северо-Востока Европейской части СССР и Севера Урала. Сыктывкар, 1976. С. 118–123.
22. *Мельников Е.С.* Принципы общего инженерно-геологического районирования в области многолетнемерзлых пород // Материалы 4-го регионального совещания по инженерной геологии. Л., 1968. С. 74–76.
23. *Минкин М.А., Бойкова И.М., Маслов А.Д. и др.* Мерзлотное инженерно-геологическое районирование для целей строительства сооружений // Труды Государственного института по проектированию оснований и фундаментов «Фундаментпроект». 1974. Вып. 14. С. 25–40.
24. *Николаев Н.И.* Генетические типы новейших континентальных отложений // Бюллетень МОИП. Отд. Геология. № 4. 1946.
25. *Попов И.В.* Инженерная геология СССР. Ч. 1. Общие основы региональной инженерной геологии. М.: Изд-во МГУ, 1961. 178 с.
26. *Попов И.В.* Инженерная геология СССР. Ч. 2. Европейская часть СССР. М.: Изд-во МГУ, 1965. 477 с.
27. *Попов И.В., Голодковская Г.А.* Теоретические основы региональной инженерной геологии // Инженерная геология СССР. Т. 1. М.: Изд-во МГУ, 1978. С. 9–37.
28. *Попов И.В., Костенко Н.П.* Региональные и зональные закономерности возникновения и развития склоновых процессов и их отложений // Гидрогеология и инженерная геология аридной зоны СССР. Вып. 12. Душанбе: Дониш, 1968. С. 19–34.



29. *Сергеев Е.М., Герасимова А.С., Трофимов В.Т.* Объяснительная записка к инженерно-геологической карте Западно-Сибирской плиты, масштаб 1:1 500 000. М.: Изд-во МГУ, 1972. 96 с.
30. *Трофимов В.Т.* Закон зональности инженерно-геологических условий Земли // Теоретические вопросы инженерной геологии. М.: Изд-во МГУ, 1999. С. 49–52.
31. *Трофимов В.Т.* Закономерности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий Западно-Сибирской плиты. М.: Изд-во МГУ, 1977. 280 с.
32. *Трофимов В.Т.* Зональность инженерно-геологических условий континентов Земли // Вестник Московского университета. Сер. Геология. 1983. № 6. С. 3–11.
33. *Трофимов В.Т.* Зональность инженерно-геологических условий континентов Земли. М.: Изд-во МГУ, 2002. 348 с.
34. *Трофимов В.Т.* Инженерно-геологические формации: идея, содержание, подходы и признаки выделения // Труды Научной конференции «Новые идеи в инженерной геологии». М.: Изд-во МГУ, 1996. С. 30–33.
35. *Трофимов В.Т.* Инженерно-геологическое районирование крупных территорий на основе анализа закономерностей пространственной изменчивости инженерно-геологических условий (на примере Западно-Сибирской плиты): автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. М., 1976. 49 с.
36. *Трофимов В.Т.* К введению понятия «инженерно-геологическая зона» // Вестник Московского университета. Сер. Геология. 1974. № 2. С. 49–66.
37. *Трофимов В.Т.* О причинной обусловленности зонального изменения инженерно-геологических условий (на примере Западно-Сибирской плиты) // Вопросы инженерной геологии и грунтоведения. Вып. 3. М.: Изд-во МГУ, 1973. С. 276–300.
38. *Трофимов В.Т.* О путях учета закономерностей пространственной изменчивости инженерно-геологических условий при районировании крупных территорий // Инженерная геология. 1979. № 1. С. 38–46.
39. *Трофимов В.Т.* О ряде теоретических вопросов инженерно-геологического районирования // Тезисы докладов 5-й Всесоюзной конференции «Проблемы инженерной геологии в связи с промышленно-гражданским строительством и разработкой месторождений полезных ископаемых». Т. 1. Свердловск, 1984. С. 75–78.
40. *Трофимов В.Т.* О содержании ряда фундаментальных понятий региональной инженерной геологии // Инженерная геология. 1986. № 5. С. 10–21.
41. *Трофимов В.Т.* Основные закономерности широтного (зонального) изменения инженерно-геологических условий Западно-Сибирской плиты // Природные условия Западной Сибири. Вып. 1. М.: Изд-во МГУ, 1971. С. 157–170.
42. *Трофимов В.Т.* Проблемы региональной инженерной геологии // Инженерная геология сегодня: теория, практика, проблемы. М.: Изд-во МГУ, 1988. С. 25–41.
43. *Трофимов В.Т.* Региональные геологические и зональные факторы формирования инженерно-геологических условий // Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы. М.: Недра, 1985. С. 242–244.
44. *Трофимов В.Т., Аверкина Т.И.,* Инженерно-геологические структуры: иерархия, типы, парагенетические ряды // Вестник Московского университета. Сер. Геология. 1996. № 4. С. 15–26.
45. *Трофимов В.Т., Аверкина Т.И.* Теоретические основы региональной инженерной геологии. М.: ГЕОС, 2007. 464 с.
46. *Трофимов В.Т., Аверкина Т.И., Зилинг Д.Г.* Содержание и методика составления карты инженерно-геологического районирования Северной Евразии // Геоэкология. 1996. № 2. С. 78–85.
47. *Трофимов В.Т., Аверкина Т.И., Спиридонов Д.А.* Инженерно-геологические структуры Земли. М.: Изд-во МГУ, 2001. 176 с.
48. *Трофимов В.Т., Богданов М.И.* Инженерно-геологическое районирование (теория и практика). // Гидрогеология и инженерная геология: обзор ВНИИ экон. минер. сырья и геолого-разв. работ (ВИЭМС). М.: Изд-во ВИЭМС, 1989. С. 53–56.
49. *Трофимов В.Т., Гомбын Л.А.* Инженерно-геологическое районирование Монгольской Народной Республики // Вестник Московского университета. Сер. Геология. 1983. № 1. С. 55–62.
50. *Трофимов В.Т., Спиридонов Д.А.* Теоретико-графическая модель инженерно-геологических условий и их изменение в эпоху техногенеза // Вестник Московского университета. Сер. Геология. 1998. № 2. С. 53–59.
51. *Трофимов В.Т., Фадеев П.И.* Систематика грунтовых толщ Нечерноземной зоны РСФСР // Природные условия Нечерноземной зоны РСФСР. М.: Изд-во МГУ, 1982. Вып. 1. С. 106–119.
52. *Трофимов В.Т., Фадеев П.И., Кропоткин М.П.* и др. О содержании и методике составления карты грунтовых толщ Нечерноземной зоны РСФСР / Природные условия Нечерноземной зоны РСФСР. Вып. 1. М.: Изд-во МГУ, 1982.
53. *Труш Н.И.* Основные особенности инженерно-геологических условий области островного распространения многолетнемерзлых пород (на примере Алданского района Южной Якутии) // Мерзлотные исследования. М.: Изд-во МГУ, 1966. Вып. 5. С. 134–149.
54. *Фотиев С.М.* Зональные и региональные закономерности формирования прерывистости толщи многолетнемерзлых пород // Труды ПНИИИС. 1974. Вып. 29. С. 24–38.
55. *Чуринов М.В., Цыпина И.М., Лазарева В.П.* Типизация территории СССР для инженерно-геологических целей // Труды ВСЕГИНГЕО. 1974. Вып. 76. С. 7–14.
56. *Щац М.М.* Геокриологические условия Алтае-Саянской горной страны. Новосибирск: Наука, 1978. 104 с.
57. Экзодинамика Западно-Сибирской плиты (пространственно-временные закономерности) / под редакцией В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 1986. 288 с.
58. Engineering Geology of the Earth. Moscow: Nauka Publishers, 1989. 248 p.