



# РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О РОЛИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ФОРМИРОВАНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ИХ ОЦЕНКИ ПРИ ЛОКАЛЬНЫХ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

## DEVELOPMENT OF IDEAS ABOUT THE ROLE OF GROUNDWATER IN FORMATION OF ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS AND ITS ASSESSMENT FOR LOCAL AND REGIONAL INVESTIGATIONS

**ТРОФИМОВ В.Т.**

*Заведующий кафедрой инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ 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 МГУ им. М.В. Ломоносова, к.г.-м.н., crasilova.nina@yandex.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, trofimov@rector.msu.ru*

**KRASILOVA N.S.**

*Senior staff scientist of the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, PhD (candidate of science in Geology and Mineralogy), crasilova.nina@yandex.ru*

### **Ключевые слова:**

*гидрогеологические условия; классификации подземных вод; агрессивность, подтопление, суффозия, гидрогеологические структуры, зональность гидрогеологических условий, гидрогеологическое районирование, инженерно-геологические карты.*

### **Key words:**

*hydrogeological conditions; classification of groundwaters; aggressiveness; flooding; suffusion; hydrogeological structures; zonality of hydrogeological conditions; hydrogeological zoning; engineering-geological maps.*

### **Аннотация**

**В статье рассматриваются роль и задачи изучения подземных вод как фактора инженерно-геологических условий. Приводятся классификационные построения подземных вод, используемые в инженерной геологии. Охарактеризованы: развитие представлений о роли подземных вод в формировании экзогенных геологических процессов; теоретические позиции учения о гидрогеологическом районировании, гидрогеологических структурах и зональности подземных вод, используемые в региональной инженерной геологии; изменения гидрогеологических особенностей как показатели региональной трансформации инженерно-геологических условий под влиянием антропогенных факторов; отражение гидрогеологических характеристик на обзорных, мелко- и среднемасштабных инженерно-геологических картах.**

### **Abstract**

**The article deals with the role and tasks of study of groundwater as a factor of engineering-geological conditions. Groundwater classifications used in engineering geology are considered. The paper characterize: development of ideas about the role of groundwater in formation of exogenous geological processes; theoretical positions of the doctrine of hydrogeological zoning, hydrogeological structures and groundwater zonality used in regional engineering geology; changes of hydrogeological features as indicators of regional transformation of engineering-geological conditions under influence of man-made factors; reflection of hydrogeological characteristics on general, small-scale and medium-scale engineering-geological maps.**

### **Об оценке роли и задачах изучения подземных вод как фактора инженерно-геологических условий<sup>1</sup>**

И.В. Попов [44] определил гидрогеологические условия территории как второй по важности (после горных пород) фактор инженерно-геологических условий. Подобный подход «исповедовали» многие исследователи, которые проводили изучение инженерно-геологических условий для любого вида строительства и в более ранний период. Так, в руководстве по производству комплексных геологических работ, составленном в 1933 г. Союзгеоразведкой, указывалось, что гидрогеологические карты наряду с геологическими и литологическими должны быть непременно пособием при решении инженерно-геологических задач. П.Н. Панюков (1937 г.), отмечая важность гидрогеологических условий для решения инженерно-геологических задач, считал необходимым в составе инженерной геологии выделять «инженерную гидрогеологию» как самостоятельный раздел.

Под *гидрогеологическими условиями* гидрогеологами понимается природная обстановка, характеризующаяся особенностями распространения и формирования подземных вод, которые обусловлены геологическим строением, водно-физическими свойствами горных пород, количеством и качеством подземных вод, спецификой их режима (уровенного, химического, температурного) под влиянием как естественных, так и искусственных (техногенных) факторов [43]. Теоретические и методические основы их изучения являются предметом гидрогеологической науки, но данные о

<sup>1</sup> В сборе исходного материала на первом этапе исследований принимала участие А.С. Герасимова.

гидрогеологических условиях, полученные гидрогеологами, представляются важнейшими для характеристики инженерно-геологических условий любой территории. К числу таких показателей относятся: характер распространения подземных вод, глубина их залегания, режим, водообильность, химический состав и др. Именно эти характеристики определяют особенности инженерно-геологических изысканий, проектирования, возведения и эксплуатации инженерных сооружений. Поэтому они используются как обязательные при оценке инженерно-геологических условий.

*Изучение гидрогеологических условий при инженерно-геологических исследованиях имеет свою специфику, которая обусловлена целевым назначением этих работ.* И.В. Попов [44] утверждал, что их типизация, классификация на инженерно-геологических картах должны отвечать требованиям, которые предъявляются к этим вопросам в гидрогеологии, но с рядом уточнений. К ним он отнес следующие положения:

- в инженерно-геологических целях требуется оценка и отображение на картах лишь тех водоносных горизонтов, которые могут оказывать то или иное влияние на устойчивость сооружения и горных пород на склонах или откосах выемок, на развитие процессов, выбор методов производства строительных работ, санитарные условия территории;
- во всех этих случаях необходимо знание общих и региональных гидрогеологических закономерностей;
- обязателен учет и характеристика всех водопроявлений и водоносности пород;
- гидрохимическая характеристика должна учитывать характер и степень агрессивности вод по отношению к горным породам и строительным материалам согласно существующим стандартам;
- инженерно-геологическая характеристика пород (коэффициент фильтрации, влагоемкость и др.) должна быть дана и для неводоносных пород, если строительство и эксплуатация сооружений предполагают поступление в них воды.

Н.В. Коломенский [32] так определил основные задачи, связанные с изучением гидрогеологических особенностей при инженерно-геологической оценке местности:

- определение характера и степени изменения свойств пород под воздействием подземных вод, особенно при возведении сооружений на породах, содержащих глинистые минералы и водорастворимые соли;
- установление возможности возникновения физико-геологических процессов — карста, оползней, суффозии, развития пльвунности песков;
- оценка потерь воды в обход и под плотиной, через борта и дно водохранилища, что зависит не только от разницы в напорах воды в нижнем и верхнем бьефе, состава и условий залегания пород, но и от условий залегания подземных вод и фильтрационных свойств пород;
- определение возможности и величины водопритоков в строительные котлованы;
- выявление агрессивности подземных вод по отношению к материалу, из которого состоят подземные части сооружений;
- определение возможности подтопления подземных частей сооружений в связи с сезонными колебаниями,

подъемом уровня подземных вод за счет орошения или сооружения водохранилищ, прудов, каналов и т.п. Для решения этих задач необходимо изучать пространство, режим, условия движения, напор, химический состав подземных вод.

Позже Г.А. Голодковская [6] отмечала, что наиболее тесно задачи инженерно-геологических исследований связаны с задачами прикладного направления гидрогеологии. К ним относятся разработка методов оценки водопритоков в горные выработки, вопросы мелиоративной гидрогеологии, изменения режима подземных вод на застроенных территориях, в зонах влияния искусственных водохранилищ, а также под воздействием других видов хозяйственного освоения территорий. Выявляемые при разработке этих задач закономерности — гидростатические, гидродинамические и гидрохимические — должны в полной мере учитываться в региональной инженерной геологии.

Г.С. Золотарев [15] указывал, что подземные воды в большинстве случаев усложняют условия строительства и эксплуатации сооружений, использование территории. Поэтому в задачу инженерно-геологических исследований входит обоснование защитных мероприятий и борьбы с отрицательным воздействием подземных вод на устойчивость сооружений и прогноз возникновения неблагоприятных, нередко опасных геологических процессов.

О.В. Слинко считал, что основными задачами гидрогеологических работ при инженерно-геологических изысканиях в дополнение к традиционным оценкам состава и свойств коллекторов являются: «...определение характера и амплитуды колебаний уровней подземных вод (естественный, естественно-техногенный или техногенный режимы подземных вод); выяснение условий питания и разгрузки подземных вод в годовом разрезе; установление гидрохимического фона подземных вод; определение расстояния до ближайшей гидродинамической границы; оценка возможного добавочного техногенного питания от проектируемой застройки; составление расчетной геофильтрационной схемы для выполнения прогноза изменения гидрогеологических условий» [50, с. 461].

Необходимо отметить, что указанный перечень задач был сформулирован не сразу и был связан не только с прогрессом теории гидрогеологии, но и с развитием СССР. На начальных этапах основные инженерно-геологические и гидрогеологические работы проводились в целях обеспечения водоснабжения, ирригации, осушения и реже гидротехнического строительства. Они получили большое развитие в связи с индустриализацией страны, необходимостью водоснабжения городов и строящихся промышленных комбинатов, развитием сельского хозяйства, ирригацией засушливых районов Средней Азии, необходимостью гидрогеологического обоснования проектов грандиозных гидротехнических сооружений, московского метро, реконструкции курортов на Кавказе, в Забайкалье, на Урале.

В самой гидрогеологической науке это был *опиcательный этап* развития [28], в течение которого стали систематически и планомерно проводить сбор и обобщение гидрогеологических материалов. Составлялись гидрогеологические карты и обзоры, печатались работы по гидрогеологии разных районов СССР. Накоп-



ленный опыт находил отражение в методической литературе [45, 48 и др.] и изданных учебниках по различным разделам гидрогеологии [49 и др.].

С середины XX века в гидрогеологии начался *объяснительный этап* развития [28]. На фоне активизации региональных гидрогеологических исследований принимаются инструкции по методикам региональных гидрогеологических исследований [35], регионального картографирования [37] и районирования. Большое значение имели работы по режиму подземных вод и подземного стока, динамике и массопереносу, структурно-гидрогеологическому районированию и картографированию, зональности подземных вод и т.д.

В развитии региональной гидрогеологии большое значение имеют фундаментальные работы С.Н. Никитина, Н.Ф. Погребова, Ф.П. Саваренского, А.Н. Семихатова, К.И. Макова, В.С. Ильина, Н.К. Игнатовича, О.К. Ланге, Г.Н. Каменского, Н.И. Толстихина, И.К. Зайцева, А.М. Овчинникова и особенно многотомная монография «Гидрогеология СССР» и комплект гидрогеологических и инженерно-геологических карт СССР. Учебники по региональной гидрогеологии были изданы в 1959 г. Г.М. Каменским, М.М. Толстихиной и Н.И. Толстихиным, в 1987 г. — В.А. Кирюхиным и Н.И. Толстихиным [30]. В последнем впервые была представлена схема гидрогеологического районирования всей планеты, дана общая характеристика гидрогеологии всего земного шара, оценено на основании созданной к тому времени теоретической базы региональной гидрогеологии состояние разработанности ее методических и прикладных вопросов. В 2005 г. был издан учебник В.А. Кирюхина [28], не имеющий аналогов как в нашей стране, так и за рубежом, в котором рассмотрены закономерности размещения и формирования подземных вод, вопросы их регионального изучения и использования.

Учение о режиме и балансе подземных вод рассматривает закономерности изменений во времени уровней, расходов, температур и химического состава подземных вод под влиянием естественных и искусственных факторов. Становлению этой отрасли гидрогеологии способствовали прежде всего работы Г.Н. Каменского, разработавшего теорию неустановившегося движения подземных вод [25], затем работы Н.Н. Биндемана, М.А. Вевяровской, М.М. Крылова, А.В. Лебедева, А.А. Коноплянцев, В.С. Ковалевского, Н.В. Роговской и др. Основные положения учения о режиме подземных вод были сформулированы к началу 1940-х гг. В 1950-х гг. учение о режиме подземных вод полностью оформилось как самостоятельное направление, выросшее на основе региональной гидрогеологии и динамики подземных вод.

В развитии учения о водах мерзлой зоны большую роль сыграли А.В. Львов, П.Ф. Швецов, В.А. Кудрявцев, Н.Н. Толстихин, М.И. Сумгин, Н.А. Маринов, А.И. Калабин, В.М. Пономарев, А.И. Ефимов, Н.А. Вельмина, Н.Н. Романовский, С.М. Фотиев, Н.В. Губкин, Е.В. Пиннекер и др.

Инженерно-геологическая общественность всегда признавала не только важность изучения гидрогеологических параметров для инженерно-геологической оценки территории, но и важность использования разработанных гидрогеологами методов и методик, ре-

зультатов проведенных исследований и полученных закономерностей. Об этом свидетельствует и преобразование в 1980 г. в соответствии с постановлением Президиума АН СССР Научного совета АН СССР по инженерной геологии и грунтоведению в Научный совет АН СССР по инженерной геологии и гидрогеологии. В 1988 г. был совместно проведен первый Всесоюзный съезд инженеров-геологов, гидрогеологов, геокриологов.

### **Классификационные построения учения о подземных водах, используемые в инженерной геологии**

Существующие классификации подземных вод подразделяются на три группы [31]:

- *общие* — подземные воды классифицируются по их положению в системе «вода — порода», по характеру взаимодействия с геологической средой;
- *частные* — сами подземные воды классифицируются по различным признакам (физическим, химическим и пр.);
- *специальные* — подземные воды подразделяются по их практическому назначению и использованию.

В *общих классификациях* подземные воды систематизируются по геологическим условиям залегания, происхождению, типам скоплений. Начало разработки таких классификаций было положено С.Н. Никитиным (1851–1909 гг.), который дал наиболее полное определение грунтовым и артезианским водам.

В дальнейшем классификации подземных вод *по условиям их залегания* (по их положению в вертикальном разрезе подземной гидросферы) создавали многие исследователи: С.Н. Никитин и Н.Ф. Погребов (1895 г.); А. Штопер (1907 г.), Р.А. Дели (1917 г.); Е.А. Мартель (1921 г.); О.Е. Мейцер (1923, 1935 гг.); А.М. Жирмунский и А.А. Козырев (1928 г.); В.Л. Личков (1929 г.); О.К. Ланге (1931, 1950, 1957 гг.); Ф.П. Саваренский (1935, 1939 гг.); Н.Н. Славянов (1935 г.); В.А. Сулин (1946–1948 гг.); Г.Н. Каменский (1947 г.); И.К. Зайцев (1946–1948 гг.); А.М. Овчинников (1948, 1955 гг.); Н.И. Толстихин (1954 г.); В.А. Всеволожский (1991 г.) и др. Длительное время широко использовалась классификация Ф.П. Саваренского [46], который разделил подземные воды по условиям залегания на пять типов:

- почвенные, болотные, верховодка;
- грунтовые;
- карстовые;
- артезианские;
- жильные (трещинные).

Последующие общие классификации дополняли и развивали построения С.Н. Никитина и Ф.П. Саваренского [31]. К примеру, А.М. Овчинников (1949 г.) сократил основные типы подземных вод до трех (верховодка, грунтовые и артезианские воды), в зависимости от характера водовмещающих пород основные типы разделил на подтипы (поровые и трещинные), а также выделил особые подтипы вод, характерные для районов многолетней мерзлоты и молодого вулканизма. Н.И. Толстихин в 1954 г. [52] в отличие от А.М. Овчинникова проводил деление подземных вод отдельно для территорий, где мерзлота есть и где ее нет. Он включил в свою классификацию воды не только

литосферы, но и подкорových глубин, а также внутрикорových магматических очагов, т.е. выделил классы подземных вод для различных типов структур — артезианских бассейнов, складчатых областей и глубинных зон.

Классификацию грунтовых вод по характеру их скоплений разработал в 1961 г. И.К. Зайцев. По мнению В.А. Кирюхина [28], она позволяет учесть особенности распределения, залегания и динамики подземных вод, степень литификации пород, характер их «скважности». В дальнейшем эта классификация была дополнена и усовершенствована И.К. Зайцевым, Н.И. Толстихиным [12] и В.А. Кирюхиным (1976 г.).

Практически в большинстве классификаций выделяются три основных типа вод:

- зоны аэрации (верховодка);
- грунтовые (как безнапорные воды первого от поверхности водоносного горизонта со свободной поверхностью);
- артезианские (называемые также межпластовыми напорными).

Такое деление используется в настоящее время и в региональной инженерной геологии.

Созданию генетических классификаций подземных вод предшествовал, как отмечали В.И. Кирюхин и др. [31], очень длительный период создания философами в VI–I вв. до нашей эры отдельных научных гипотез и теорий происхождения подземных вод. Содержательные классификации этого типа стали появляться в середине XIX в.

Г.Н. Каменский [26] наметил три генетических цикла формирования подземных вод:

- инфильтрационный, или континентальный;
- морской, или осадочный;
- метаморфический и магматический.

При этом могут образовываться:

- грунтовые воды выщелачивания, формирующиеся в результате просачивания вод вглубь земли в условиях влажного климата;
- грунтовые воды континентального засоления, формирующиеся в засушливых степных и пустынных районах под влиянием процессов интенсивного испарения и засоления;
- артезианские воды выщелачивания, или воды глубокой циркуляции.

Н.И. Толстихин предложил в 1956 г. [52] генетическую классификацию, в которой рассмотрел четыре типа вод:

- парообразная фаза подземных вод (пар);
- жидкая фаза подземных вод (вода);
- твердая фаза подземных вод (лед);
- вода, удерживаемая минералами (химически связанная) — конституционная, кристаллизационная, цеолитная, коллоидная.

Первые три типа вод подразделяются на эндогенные и экзогенные с последующим более детальным делением по условиям образования.

Известны классификации О.К. Ланге (1985 г.), М.Е. Альтовского (1985 г.), Е.В. Пиннекера (1980 г.) [52]. Одна из последних классификаций предложена В.А. Кирюхиным и др. [31]. Она представлена на рис. 1 в виде общей схемы взаимосвязи подземных вод разного генезиса, обобщающей более ранние классификации и позво-

ляющей лучше понять место различных генетических классов подземных вод в подземной гидросфере.

*Частные классификации подземных вод* хорошо разработаны и широко используются. Они систематизируют подземные воды обычно по какому-то одному признаку: химическому составу, жесткости, агрессивности, температуре и т.д. Сюда же можно отнести и классификации по типу водовмещающих пород, условиям залегания подземных вод и пр.

Попытки создать классификацию *по химическому составу* подземных вод предпринимались такими виднейшими учеными, работавшими в области гидрогеохимии, как: О.А. Алекин, М.Г. Валяшко, В.И. Вернадский, В.В. Иванов, А.М. Овчинников, К.Е. Питьева, В.С. Самарина, В.А. Сулин, Н.И. Толстихин, С.А. Щукарева, М.Е. Альтовский и В.М. Швеиц и др. [5]. Тем не менее многие исследователи признают, что универсальной классификации для химического состава подземных вод не разработано.

К.Е. Питьева и др. [42] подразделяют существующие классификации этого типа на две группы по используемым при этом признакам — компонентному составу и минерализации. Среди первых В.С. Самарина [47] выделяет классификации «чисто химические» и «с элементами генетической основы». К первому типу отнесена классификация С.А. Щукарева [61], построенная в виде таблички-матрицы, на вертикальной оси которой расположены три аниона, на горизонтальной — три катиона, которые наиболее часто встречаются и присутствуют в воде в количестве более 25 процент-эквивалентов. На пересечении рядов под номерами показан химический состав подземных вод.

Классификация О.А. Алекина [1] (рис. 2) по мнению В.А. Всеволожского [5], имеет промежуточный характер, учитывающий оба признака — химический состав и генетический тип.

Классификации грунтовых вод *по общей минерализации* разрабатывались многими исследователями (табл. 1).

В методическом руководстве [36] рекомендуется классификация В.А. Приклонского с выделением пяти групп:

<b>подземные воды</b>	<b>минерализация, г/л</b>
пресные	до 1
слабоминерализованные	1–3
средней минерализации	3–10
минерализованные	10–50
рассолы	более 50

В ГОСТ 2874-82 природные воды по минерализации делятся в соответствии с градациями в классификации В.А. Алекина 1970 г. [1].

В классификации К.Е. Питьевой [42] сделана попытка объединить подразделение подземных вод по степени минерализации (пресные, слабоминерализованные, минерализованные, сильноминерализованные) с их покомпонентным составом — содержанием анионов и катионов.

Для оценки природных грунтов *по степени жесткости*, обусловленной содержанием растворимых солей кальция и магния, пользуются классификацией О.В. Алекина [1], разделяющей подземные воды на пять групп:





**подземные воды**

очень мягкие  
 мягкие  
 умеренно жесткие  
 жесткие  
 очень жесткие

**содержание солей  
 Са и Mg, мг-экв**

до 1,5  
 1,5–3,0  
 3,0–6,0  
 6,0–9,0  
 более 9,0

С инженерно-геологической точки зрения наиболее важна *агрессивность подземных вод* по отношению к бетону (цементному камню) и металлам, которая подразделяется на углекислотную, выщелачивающую, общекислотную, сульфатную, магниезальную и кислородную. Агрессивность по отношению к бетону определяется в зависимости от содержания различных компонентов в воде, коэффициента фильтрации грунта, минерального состава и марки бетона. Она регламентируется различными нормативными документами, в т.ч. СНиП 2.03.11-85, в которых в зависимости от сочетания перечисленных факторов степень агрессивности подземных вод может быть трех категорий: слабая, средняя, сильная.

Глубина залегания *грунтовых вод* картируется в соответствии с методическим руководством [36] в таких градациях:

- до 1 м — грунты постоянно переувлажнены;
- от 1 до 2 м — временное переувлажнение пород в период весеннего подъема уровней;
- от 2 до 5 м — оптимальный режим;
- от 5 до 10 м и более — глубина залегания грунтовых вод больше глубины заложения обычных фундаментов.

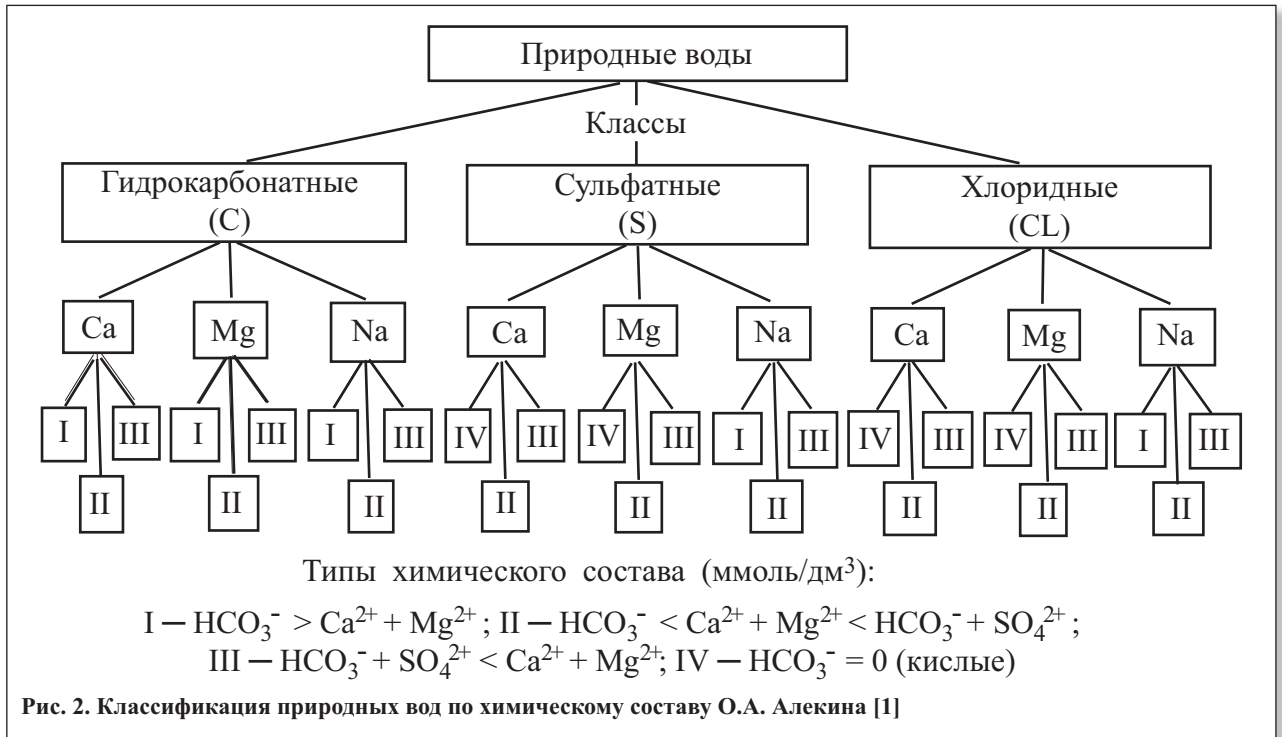
Классификации подземных вод *по температуре* разрабатывались О.А. Алекиным, Б.Ф. Маврицким, А.М. Овчинниковым, Н.И. Толстихиным, А.В. Щербаковым и др. [5]. Ф.П. Саваренский [52] подразделил подземные воды по температуре на две группы:

- I — *холодные*: весьма холодные (ниже 4 °С), холодные (4–20 °С);
- II — *термальные*: теплые (20–37 °С), горячие (37–42 °С), очень горячие (больше 42 °С).

Более дробное деление подземных вод по температуре — в классификации О.А. Алекина и классификации А.В. Щербакова. Последняя получила наиболее широкое распространение [5].



Рис. 1. Общая схема взаимосвязи подземных вод различного генезиса В.А. Кирюхина и др. [1]



### Развитие представлений о роли подземных вод в формировании экзогенных геологических процессов

Становление учения о воде как геологическом факторе развития Земли связывается с именем М.В. Ломоносова (1752 г.), рассмотревшего в своей работе «О слоях земных» роль воды в процессах породообразования, метаморфизма и др. Первая всесторонняя оценка роли воды в развитии геологических процессов произведена И.В. Мушкетовым в 1888 г. в книге «Физическая геология» [4]. Проблема изучения состава поровых вод осадочных горных пород и их роли в геологических процессах была поставлена В.И. Вернадским в 1929 г. в работе «О капиллярной воде горных пород и минералов».

На современном уровне при оценке подземных вод как фактора инженерно-геологических условий территорий исследуются прежде всего процессы взаимодействия воды с массивом грунтов, инженерными сооружениями и возникающие при этом взаимодействия не-

гативные последствия в виде различных экзогенных природных или инженерно-геологических процессов. Все они начинаются с изменений минерального и химического состава грунтов как многокомпонентных динамических систем, что в конечном итоге приводит к трансформации их свойств (плотности, прочности, проницаемости и т.д.). А это вызывает ослабление массива и подготавливает благоприятные условия для дальнейшего развития современных геологических процессов. На это накладываются гидромеханические и гидродинамические воздействия подземных вод на грунтовый массив, которые приводят к дальнейшим изменениям его свойств, подъему уровня грунтовых вод и подтоплению территорий, смещению блоков массивов на склонах.

Действие фильтрационного потока на грунтовый массив изначально исследовалось в связи со строительством гидротехнических сооружений. Н.Н. Павловский разработал (1922 г.) теорию и методы расчета установившейся фильтрации в напорных пластах. Он обосновал теорию движения подземных вод под гид-

Таблица 1

Систематика классификаций природных вод по минерализации (по [42])							
Воды	Автор классификации, год публикации, ед. изм. минерализации						
	М.Г. Валяшко, 1962, г/л	А.В. Щербаков, 1962, г/л	В.А. Алекин, 1970, г/кг	И.К. Зайцев, 1972, г/л	В.И. Вернадский, 1936, г/л	Е.В. Пиннекер, 1966, г/л	М.С. Гуревич, Н.И. Толстихин, 1961, г/л
Пресные	менее 1,0	0,2–1,0	до 1,0	менее 0,5–1,0	менее 1,0	–	менее 0,1–1,0
Солоноватые	1,0–35,0	1,0–10,0	1,0–25,0	1,0–10,0	1,0–10,0	–	1,0–10,0
Соленые	более 35	10,0–50,0	25,0–50,0	10,0–50,0	10,0–50,0	–	10,1–52,0
Рассолы	–	50,0–320,0 и более	более 50	50–270 и более	более 50	36,0–500,0 и более	52,0–500,0



ротехническими сооружениями. В его работах рассматривались почти исключительно грунты однородного строения.

К. Терцаги впервые указал на важную роль неоднородности строения грунта и особенно присутствия прослоев и линз более грубозернистого материала. Он вывел математическое выражение величины фильтрационного давления, предложил приемы расчета устойчивости грунта, подверженного действию фильтрационного потока.

И.В. Попов [44] подчеркивал, что необходимость учета гидрогеологических условий при инженерно-геологических исследованиях определяется прежде всего тем, что подземные воды воздействуют на вмещающие их породы, изменяя их свойства и состояние.

Э.В. Калинин [54] более подробно рассмотрел роль подземных вод в развитии геологических процессов. Он считает, что их роль проявляется в трех направлениях:

- подземные воды существенно изменяют физико-механические свойства пород, такие как прочность, деформируемость, что может быть причиной размокания, набухания, просадки и т.д.;
- подземные воды оказывают силовое воздействие, изменяющее напряженное состояние массива пород, что имеет большое значение при образовании оползней, обвалов на склонах или откосах карьеров, деформациях в подземных выработках, оседании поверхности земли и т.д.;
- подземные воды являются основным фактором растворения пород, что является причиной развития карста.

Существенно ухудшаются свойства пород и вся инженерно-геологическая обстановка при *подтоплении территории и развитии сопутствующих процессов*.

*Подтопление* связано с повышением уровня грунтовых вод до критических значений — менее 1-2 м от поверхности земли. Оно происходит как в естественных условиях, так и в результате подпора подземных вод при создании прудов, водохранилищ, полей фильтрации, поглощающих колодцев, при утечках из подземных водонесущих коммуникаций, при перекрытии части поперечного сечения потока грунтовых вод инженерными сооружениями.

Теория подпора грунтовых вод и методы решения различных задач по подпору в зависимости от геологического строения речных долин, условий залегания в них водоносных пластов и характера движения грунтовых вод детально разработаны и описаны Г.Н. Каменским в его учебниках [25] и в отдельных методических инструкциях. Они получили развитие в работах В. М. Шестакова и В.А. Мироненко [38-40] и др.

Разные стороны процесса подтопления всегда привлекали внимание инженеров-геологов. Прежде всего изучались изменения при этом инженерно-геологических свойств грунтов оснований, особенно глинистых и лессовых, режимы изменений их влажности и прочности (А.Ф. Лебедев, 1936 г.; В.И. Федоров, 1960, 1965 гг.; И.М. Круглов, 1966 г.; В.П. Ананьев, 1969 г.; В.Е. Анпилов, 1971 г. и др.). В районах, сложенных лессами, при развитии подтопления создаются предпосылки для просадочных процессов.

В многочисленных публикациях рассматривались закономерности формирования подтопления, прогноз

режима грунтовых вод на застраиваемых территориях (И.Н. Биндеман, 1960 г.; П.В. Бабкин, 1964 г.; В.Е. Анпилов, 1974, 1984 гг.; Д.Г. Господинов, 1985 г.; Е.С. Дзекцер, 1985; И.Е. Жернов и др., 1988 г.; И.Г. Казакова и О.В. Слинко, 1953, 1996 и др.). Изучением подтопления городов, обусловленного нарушением естественного стока, условий испарения и большими утечками из водонесущих коммуникаций, занимались В.П. Ананьев и Н.В. Валяник (г. Волгодонск), В.С. Гончаров и Ю.И. Олянский (г. Кишинев), О.В. Тюменцева и П.В. Радищев (г. Омск) и многие другие, показавшие активизацию этого процесса и те неприятности, которые с ним связаны.

Большое внимание привлекали вопросы методики районирования застраиваемых территорий по степени потенциальной подтопляемости грунтовыми водами [7, 22-24 и др.]. Была составлена «Карта подтопления территории России масштаба 1:5 000 000» [24], в основу которой были положены данные анализа изменений гидрогеологических условий на территории более чем 2000 городов и населенных пунктов. На ней по общенным типовым гидрогеологическим разрезам выделено восемь гидрогеологических провинций. Были также составлены «Карта районирования территории УССР по условиям и степени подтопления масштаба 1:1 000 000» [27], «Карта подтопления Калмыкии масштаба 1:500 000» [51] и др.

Подтопление территории часто приводит к *засолению почвы*. Оно происходит при близком залегании грунтовых вод, когда образуется постоянный восходящий ток воды, которая, испаряясь, отлагает соли в почве. Наибольшую глубину уровня грунтовых вод, при которой начинается засоление почвы, называют критической глубиной.

В результате механической деятельности подземных вод обычно локально развивается *суффозия*. Она представляет собой вынос твердых частиц фильтрационным потоком подземных вод из толщи неоднородной горной породы при больших скоростях этого потока [34], обуславливаемых высоким гидростатическим давлением, при возможности выноса частиц из породы, из заполнителя трещин и карстовых полостей.

В разные годы изучением суффозии занимались В.С. Истомина [20], И.В. Попов [44], А.Н. Ильин и др. [16], Н.В. Коломенский и И.С. Комаров (1964 г.), В.П. Зверев [13], И.А. Печеркин (1969 г.), Ф.В. Котлов (1977 г.), В.Д. Ломтадзе [34], Г.К. Бондарик (1981 г.), К.Я. Казаков (1981 г.), А.И. Печеркин, В.Е. Закоптелов (1982 г.), А.Д. Кочев, В.Н. Экзарьян и др. (1989 г.), В.Л. Беляев и В.П. Хоменко (1990 г.), А.И. Шеко (1999 г.), В.П. Хоменко [58]. А.В. Аникеев [2], В.М. Кутепов и др. (2011 г.) и др.

В.С. Истомина [20] в 1957 г. установила, что чем больше неоднородность породы, тем при меньших градиентах фильтрации начинается суффозия. К.Я. Казаков [21], исследовавший распространение суффозии на Русской равнине и смежных территориях, установил, что оптимальные условия для развития суффозии создаются на границах зон избыточного и недостаточного увлажнения, поскольку для суффозионных процессов неблагоприятны как недостаток влаги, так и ее избыток.

Суффозионные процессы активно протекают в районах, сложенных закарстованными или растворяющи-

мися в настоящее время породами. Так, на левобережье р. Оки в районе г. Дзержинска в условиях активного современного растворения пермских сульфатных пород происходит вынос в образующиеся карстовые пустоты вышележащих аллювиальных песков, что приводит к ослаблению толщи этих песков и регулярному возникновению провалов [13, 16].

В.П. Хоменко в работе [58] предложил классификацию суффозии по характеру разрушения горных пород, определил факторы, подготавливающие условия развития суффозии, гидрогеологические факторы, иницирующие ее развитие, природные и техногенные процессы и воздействия, способные ее вызвать.

Г.С. Золотарев [15] отмечал большую роль гидрогеологических факторов в развитии оползней. Она оценивается несколькими гидрогеологическими критериями:

- постоянная и сезонная обводненность пород;
- наличие вод в породах в гравитационных и связанных формах;
- приуроченность вод к отдельным пластам, трещинам и контактам в массиве;
- напоры, градиенты и режим подземных вод с учетом инфильтрации, фильтрации на участках подпорных или осушительных сооружений, колебаний уровней водохранилищ и утечек хозяйственных вод.

### **Теоретические позиции учения о гидрогеологическом районировании, гидрогеологических структурах и зональности подземных вод, используемые в региональной инженерной геологии**

#### **Общие сведения о подходах, используемых при гидрогеологическом районировании**

Характеристика гидрогеологических условий как фактора инженерно-геологических условий территорий на *региональном уровне* включает описание общих закономерностей распространения, условий залегания, режима и изменения химического состава подземных вод и базируется на достижениях региональной гидрогеологии. Согласно имеющимся в инженерно-геологической литературе материалам, посвященным гидрогеологической характеристике различных территорий, при региональных инженерно-геологических исследованиях необходимо обращать особое внимание на гидрогеологическое строение, гидродинамический режим и химизм подземных вод изучаемого региона (наиболее четко это показано в первом и втором изданиях монографии «Инженерная геология СССР» [17, 18]).

Гидрогеологическое строение региона определяет следующие важные характеристики:

- фильтрационное строение массива (количество и характер водоносных горизонтов и комплексов, их взаимосвязь, тип проницаемости);
- стратиграфическое и геоморфологическое положение этих горизонтов и комплексов, областей их питания и разгрузки;
- влияние на гидрогеологические условия природной зональности и поясности;
- химический состав подземных вод.

Кроме того, гидрогеологическое строение определяет те гидрогеологические характеристики, которые

непосредственно используются в инженерно-геологических расчетах и прогнозах:

- глубину залегания грунтовых вод и их режим;
- гидростатические напоры;
- фильтрационные параметры;
- агрессивность подземных вод по отношению к строительным конструкциям и материалам.

*Все эти данные, их взаимосвязь и взаимная обусловленность выявляются при гидрогеологической и инженерно-геологической съемке и обобщаются при гидрогеологическом районировании.*

Исторически создание направления по гидрогеологической съемке и картографии связано с именем С.Н. Никитина, проводившего геологические и гидрогеологические исследования в 1893 г. и создавшего общую инструкцию для таких работ. Он же создал основы региональной гидрогеологии и определил направления по гидрогеологическому районированию [4].

Первое районирование грунтовых вод европейской части СССР было проведено В.С. Ильным в 1922 г. Затем М.М. Василевский (1937-1939 гг.) создал первую гидрогеологическую схему районирования территории СССР по принципу совместного рассмотрения грунтовых и артезианских вод. И.К. Зайцев и Н.И. Толстихин (1964 г.) разработали принципы гидрогеологического районирования, которые использовались в качестве базовых при составлении 50-томной монографии «Гидрогеология СССР» [28].

В региональной гидрогеологии преобладают *два подхода к районированию*, учитывающие условия залегания подземных вод. *Первый* — с отдельным составлением схем районирования для грунтовых и артезианских вод (О.К. Ланге, Б.Л. Личков, А.Н. Семихатов, К.И. Макова и др.). Сторонники этого подхода считали, что распространение грунтовых вод подчинено ландшафтно-географической зональности, а распространение артезианских вод — геолого-структурной, поэтому их районирование должно проводиться по разным признакам. *Второй подход* — составление схем районирования, в которых грунтовые и артезианские воды не разделяются, а рассматриваются совместно в пределах общей для них гидрогеологической структуры (Н.Ф. Погребов, М.М. Василевский, Н.Г. Каменский, И.К. Зайцев, Н.И. Толстихин и др.). В последние годы Всероссийский научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО) предложил комбинированный подход: для мелкого масштаба — совместное районирование, для крупного — раздельное [28].

Н.И. Толстихин и И.К. Зайцев в своих работах (1963-1968 гг.) сформулировали и рассмотрели *геолого-структурный принцип гидрогеологического районирования*, основы которого были предложены М.М. Василевским в 1939 г. [28]. Они ввели понятие «бассейн подземных вод», отождествляя его с понятием «гидрогеологический район», выделили в соответствии с разнообразием геологических структур и условиями нахождения в них вод типы бассейнов подземных вод. При таком подходе последние являются основной единицей гидрогеологического районирования. Территория распространения бассейнов подземных вод определенного порядка относится к элементарному гидрогеологическому району.





В соответствии с позициями структурно-гидрогеологического районирования геологическая структура, в пределах которой господствуют один или несколько определенных типов скоплений подземных вод, называется «*гидрогеологическая структура*». Было определено ее содержание и описаны типы таких структур.

#### **Гидрогеологические структуры как региональные образования и их типы**

В.А. Кирюхин и Н.И. Толстихин [30] дали следующее определение содержания термина, указанного в названии раздела: «Под гидрогеологической структурой понимается геологическая структура, ее часть или совокупность нескольких геологических структур, в пределах которых имеет место сходство условий формирования, залегания, накопления, движения и разгрузки подземных вод в процессе развития земной коры. Гидрогеологическая структура — это вместилище подземных вод, гидродинамически более или менее обособленное от смежных структур... *Гидрогеологическая структура — это часть земной коры, в пределах которой подземные воды связаны в единую зональную систему и характеризуются общими условиями формирования и размещения*<sup>2</sup>» [30, с. 5, 25]. Гидрогеологическая структура относится к некоторому объему, а гидрогеологический район — к площади, участку земной поверхности.

В.А. Кирюхин [28] при гидрогеологическом районировании в соответствии с предложениями И.К. Зайцева и Н.И. Толстихина выделяет гидрогеологические районы первого порядка, которые являются как бы проекцией на поверхность Земли гидрогеологических структур, к которым приурочены бассейны подземных вод. Сочетание гидрогеологических районов образует надпорядковые структуры (области, пояса, системы поясов). При расчленении районов первого порядка образуются районы второго, третьего и последующих порядков. А конечным звеном районирования является водоносный комплекс или горизонт. Эти наработки гидрогеологов используются в региональной инженерной геологии при характеристике гидрогеологического компонента инженерно-геологических условий больших территорий.

В работе [28] В.А. Кирюхин показал региональные закономерности распространения и формирования подземных вод в различных типах гидрогеологических структур. Различают три их *типа первого порядка: гидрогеологические массивы (ГМ), артезианские (АБ) и вулканогенные (ВБ) бассейны*. Особенности их строения и основные характеристики с инженерно-геологической точки зрения существенно различны.

*Гидрогеологические массивы* соответствуют приподнятым или воздымающимся структурам земной коры и характеризуются преобладающим центробежным направлением движения подземных вод — от центра к периферии массива. На платформах они пространственно совпадают со щитами, выступами пород фундамента, в горно-складчатых областях имеют более сложное строение. Водовмещающими породами гидрогеологических массивов являются трещиноватые, реже трещинно-пористые изверженные и метаморфические породы. Под-

земные воды гидрогеологических массивов питаются в основном за счет инфильтрации атмосферных осадков. И.К. Зайцев и Н.И. Толстихин предложили гидрогеологические массивы, построенные более сложно и имеющие ряд особенностей, обусловленных особой фильтрационной неоднородностью среды, называть гидрогеологическими адмассивами (ГАМ).

*Артезианские бассейны* приурочены к отрицательным складчатым структурам земной коры (синеклизам, прогибам, моноклиналям, межгорным впадинам и т.п.), состоят из фундамента и залегающего на нем платформенного чехла, отличаются преимущественным распространением разнообразных пластовых вод — артезианских и грунтовых в чехле и трещинных в фундаменте. Характерные их особенности — увеличение общей мощности отложений в пределах структуры от периферии к центру, чередование в разрезе водоносных пластов (водоносных комплексов и горизонтов) с относительно водоупорными, уменьшение проницаемости отложений от периферии к центру, выделение в разрезе трех этажей. Артезианские бассейны характеризуются центростремительным направлением фильтрации подземных вод, поскольку их движение определяется разностью напоров, совпадающей обычно с направлением падения пластов, слагающих отрицательную структуру.

*Вулканогенные бассейны* образованы вулканогенными породами, перекрывающими структуры ГМ и АБ, вмещают трещинные и лавовые воды и отличаются чрезвычайно разнообразными и нередко сложными гидрогеологическими условиями.

#### **Зональность гидрогеологических условий**

Учение о зональности подземных вод является одним из основных в региональной гидрогеологии. Различают три формы гидрогеологической зональности — широтную, высотную (горную) и глубинную (вертикальную, геологическую) [28].

Первые работы по изучению зональности подземных вод появились в конце XIX — начале XX в. и были связаны с изучением вод, близко залегающих к поверхности земли, т.е. вод зоны аэрации и грунтовых. Это работы С.Н. Никитина, В.В. Докучаева, П.А. Отоцкого (1914 г.), А.Д. Стопневича, В.С. Ильина (1929 г.). Последний в 1922 г. составил первую карту-схему зональности грунтовых вод европейской части СССР, на которой в направлении с севера на юг были выделены семь субширотных зон грунтовых вод и шесть типов областей азональных грунтовых вод.

В 30–40-х гг. XX в. эти исследования были продолжены О.К. Ланге (1947 г.), А.Н. Семихатовым, Н.И. Духаниной, Н.К. Игнатовичем (1944 г.), И.В. Гармоновым (1948 г.), Г.М. Каменским (1949 г.) и были разработаны схемы зональности грунтовых вод на других принципах. Было установлено, что в европейской части страны по направлению с севера на юг увеличиваются глубина залегания грунтовых вод, их минерализация, температура, меняются сезонный режим их поведения и состав (от силикатных гидрокарбонатных на севере до сульфатно-гидрокарбонатных в центральных районах и пестрых хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатных на юге). В.П. Зверев [14] вслед за С.Л. Шварцевым [59] показал, что химический состав

<sup>2</sup> Выделение курсивом выполнено авторами настоящей статьи.

грунтовых вод теснейшим образом связан с единой ландшафтно-климатической зональностью европейской части России. По мере движения на юг увеличиваются концентрации отдельных макрокомпонентов, прежде всего иона  $\text{HCO}_3^-$ , который является важнейшим показателем взаимодействия природных вод с горными породами.

Г.Н. Каменский [26] на территории бывшего СССР выделил две *гидрогеологические зоны* — выщелачивания грунтовых вод (гумидную) и континентального засоления (аридную). Каждая из этих зон отличается глубиной залегания, режимом, химическим составом и минерализацией грунтовых вод.

Изучение глубинного строения подземной гидросферы позволило сделать некоторые очень важные выводы. Понятие о *гидродинамической зональности подземных вод* впервые было введено В.И. Вернадским (1936 г.), а затем развито Ф.А. Макаренко (1939 г.) и Н.К. Игнатовичем (1944, 1947, 1950 гг.). Последним в разрезах артезианских бассейнов были выделены три зоны:

- верхняя — зона активного водообмена;
- средняя — зона затрудненной циркуляции;
- нижняя — зона застойного водного режима, когда подземный сток проявляется лишь в масштабе геологического времени.

В работах И.К. Зайцева, Н.И. Толстихина, А.М. Овчинникова, М.Е. Альтовского, В.Е. Пиннекера, Е.А. Баскова, С.Л. Шварцева [5] отражены закономерности площадной, высотной и глубинной гидрогеохимической зональности. Она выражается в повышении минерализации и изменении состава подземных вод по пути их движения от области питания к области разгрузки, от водоразделов к подножьям горных сооружений и с погружением водоносных систем на глубину.

Температурная зональность подземных вод также бывает трех видов — широтная, высотная и глубинная. Наибольший вклад в изучение температурных зон земных недр внесли Ф.А. Макаренко, Н.М. Фролов, Б.Ф. Маврицкий, А.А. Смыслов.

Установленные гидрогеологические закономерности с успехом используются в региональной инженерной геологии, особенно при рассмотрении изменчивости инженерно-геологических условий больших по площади территорий. В частности, В.Т. Трофимов [55, 56] использовал их при разработке проблем зональности инженерно-геологических условий Западно-Сибирской плиты, Кавказа и Земли в целом.

### **Об инженерно-геологическом значении и особенностях изучения различных типов подземных вод разных гидрогеологических структур при региональных инженерно-геологических исследованиях**

Обсуждению вопросов, указанных в названии данного раздела, в региональной инженерной геологии до определенного времени практически не уделялось внимания. Это было обусловлено тем, что выделение *грунтовых вод и вод более глубоких горизонтов*, введенное в гидрогеологии и принятое в инженерной геологии, а также их указанные ранее характеристики достаточно

полно учитывают особенности гидрогеологической обстановки, необходимые для инженерно-геологической оценки массивов как локальных, так и больших территорий. Грунтовые воды в их пределах заключены в дисперсных грунтах четвертичного возраста, реже в более древних образованиях неотектонического структурного этажа. Поэтому при региональных инженерно-геологических исследованиях эти воды всегда характеризовались как фактор инженерно-геологических условий, непосредственно связанный с особенностями рельефа и образующих его отложений. Эти данные дополнялись при таких исследованиях локальными (точечными) сведениями о подземных водах более глубоких горизонтов, обводненности пород разных стратиграфо-генетических комплексов, фильтрационной многослойности разреза, возможностей перетекания и подпитывания вод различных горизонтов и др.

Однако наличие зональности подземных вод, разработка учения о гидрогеологических, а затем и инженерно-геологических структурах потребовали специального рассмотрения вопросов, указанных в названии раздела. Наибольший вклад в их решение был внесен сотрудниками кафедры инженерной геологии МГУ им. М.В. Ломоносова. На этой основе рассмотрим данные о влиянии особенностей различных *гидрогеологических структур на их инженерно-геологические условия*, которые были выявлены различными учеными при региональных инженерно-геологических исследованиях.

Влияние гидрогеологических особенностей *артезианских бассейнов* на их инженерно-геологические условия, а также особенности их изучения при инженерно-геологических исследованиях наиболее подробно рассмотрены на примере *Западно-Сибирской плиты* во втором томе монографии «Инженерная геология СССР» [17], в работе В.Т. Трофимова [56] и др. Наиболее характерные гидрогеологические особенности этого бассейна — наличие большого количества водоносных горизонтов и комплексов пород, их ярусное расположение с водоупорными горизонтами в вертикальном разрезе и чрезвычайно пологое залегание слоев со слабым падением к центральным частям бассейна. Гидрогеологи (Ю.К. Смоленцев и др.) объединяют эти горизонты в один гидрогеологический комплекс, представляющий собой единую водонасыщенную толщу, грунтовые и межпластовые воды которой гидравлически тесно связаны между собой. Именно этот комплекс, приуроченный к новейшим преимущественно континентальным песчано-глинистым отложениям, наиболее существенно влияет на инженерно-геологические условия территории. Большая часть разреза этого комплекса принадлежит зоне интенсивного водообмена, где воды имеют непосредственную связь с реками и озерами. Сток подземных вод направлен в сторону наиболее глубоко врезанных долин рек и озерных котловин. Региональным водоупором для вод этого комплекса служит толща глинистых осадков турон-раннеолигоценного возраста, разделяющая артезианский бассейн на два этажа.

Как показали исследования С.Б. Ершовой [10], на формирование первого гидрогеологического этажа Западно-Сибирского артезианского бассейна существенное влияние оказали новейшие тектонические движения. Они определили:



- условия и направление стока;
- формирование основных водоносных горизонтов и различных условий обводненности;
- расположение основных гидрогеологических вододелов и областей разгрузки подземных вод;
- глубины залегания водоносных горизонтов.

В.Т. Трофимов [56] показал для Западно-Сибирской плиты четкое *широтное изменение многих гидрогеологических параметров верхней части разреза*, тесно связанное с характером теплообеспеченности и увлажненности территории и определяющее ее инженерно-геологическую обстановку. В пределах этого региона обособлены четыре широтные зоны, достаточно четко различающиеся по характеру подземных вод, что выражается в различных взаимоотношениях их типов и подтипов, закономерном увеличении глубины залегания, степени минерализации и различиях химического состава вод при движении с севера на юг. Это обусловлено изменением показателей климата, рельефа, литологического состава водовмещающих пород и их состояния, почвенного покрова и условий выветривания. В связи с этим влияние подземных вод как фактора, определяющего инженерно-геологические условия, в каждой из выделенных зон неодинаково.

Близкие закономерности в расположении первого от поверхности гидрогеологического горизонта, глубине его залегания, особенностях формирования химического состава и агрессивности вод, подчиняющиеся *«закону ландшафтно-климатической зональности»* описаны и для Восточно-Европейской платформы в первом томе монографии «Инженерная геология СССР» [17].

Особенности гидрогеологических условий *межгорных впадин (Минусинской и др.) юга Красноярского края*, имеющие важное инженерно-геологическое значение, описаны Г.А. Голодковской [6]. Их гидрогеологическая структура — артезианские бассейны, в пределах которых воды залегают достаточно глубоко и при оценке инженерно-геологических условий территории для массового наземного строительства играют подчиненную роль. Однако в глубокие строительные котлованы и карьеры притоки подземных вод могут быть значительными, а на отдельных участках возможны прорывы в них высоконапорных вод. Следовательно, при инженерно-геологических исследованиях в пределах межгорных впадин следует обращать внимание не только на глубину залегания подземных вод, их химический состав и агрессивность, но и на величины напоров.

Г.А. Голодковская [6] описала также инженерно-геологическое значение подземных вод *гидрогеологических массивов на примере горно-складчатых сооружений Кузнецкого Алатау, Западного и Восточного Саян*.

Из всего этого следует, что при инженерно-геологических исследованиях в пределах гидрогеологических массивов для получения необходимой информации об их гидрогеологических особенностях следует особое внимание обращать на состав пород массивов, их тектоническую нарушенность, трещиноватость, мощность выветрелой зоны, ее обводненность, состав заполнителя трещин и т.д. Все это имеет большое значение для инженерно-геологической оценки территории, т.к. в зонах тектонических нарушений возмож-

ны значительные притоки вод, которые удорожают строительные работы. Размягчение дисперсного заполнителя, расклинивающее действие пленок воды могут приводить к понижению прочностных и деформационных показателей горных пород.

При инженерно-геологических исследованиях в пределах районов развития нижнекембрийских карбонатных интенсивно закарстованных пород, где воды имеют карстовый и трещинно-карстовый характер и агрессивны, необходимо обращать внимание на такие гидрогеологические характеристики, как химический состав подземных вод, интенсивность водообмена, которая определяет скорость развития карста, а также условия, определяющие гидродинамические характеристики фильтрационного потока, такие как петрографический состав и текстурные особенности пород, условия их залегания, степень тектонической раздробленности и трещиноватости, а также рельеф и климатические особенности.

Инженерно-геологические исследования имеют некоторые особенности при изучении гидрогеологических условий в пределах *краевых впадин* с соляно-купольной тектоникой. Как показали работы В.К. Синякова (1984 г.), который рассмотрел инженерно-геологические условия Прикаспийской впадины и влияние на них гидрогеологических особенностей, к соляным куполам приурочены очаги разгрузки, по которым происходит восходящая миграция подземных вод. Минерализация вод вблизи куполов заметно увеличивается, достигая степени рассолов. Тип соляных структур определяет глубину залегания подземных (грунтовых) вод. Здесь широко развит соляной карст.

Отдельно остановимся на оценке гидрогеологических особенностей как фактора инженерно-геологических условий *территорий развития многолетнемерзлых пород*. Г.А. Голодковская [54] утверждает, что эти особенности хорошо вписываются в существующие схемы инженерно-геологического районирования, т.к. они определяются теми же факторами — структурно-геологическим и геоморфологическим строением территории. Влиянию зональности подземных вод как фактора инженерно-геологических условий в ее построениях отводилась подчиненная роль.

В.Т. Трофимов [56, 57], напротив, этому фактору придавал общепланетарный характер. На примере *Западно-Сибирской плиты* им показано, что наиболее четко взаимосвязь мерзлотных, гидрогеологических и инженерно-геологических условий выражена в пределах первого гидрогеологического комплекса. Наличие мощной и сложно построенной толщи многолетнемерзлых пород исключило из водообмена значительную часть подземных вод и наложило заметный отпечаток на формирование инженерно-геологических условий севера Западной Сибири. По их положению в разрезе мерзлых пород здесь выделены в соответствии с разработками Н.И. Толстихина (1941 г.) надмерзлотные, межмерзлотные, подмерзлотные воды и воды таликовых зон, каждая из которых имеет свою специфику. Их распространение хорошо увязывается с выделенными В.Т. Трофимовым инженерно-геологическими зонами. В зоне практически сплошного распространения многолетнемерзлых пород развиты главным образом надмерзлотные воды, приуроченные к сезон-



но-талому слою. В зоне несплошного развития многолетнемерзлых пород на севере преобладают сезонно существующие надмерзлотные воды, на юге — грунтовые воды, приуроченные к сквозным и несквозным таликам. В зависимости от типа вод и особенностей их распространения и выбираются методы инженерно-геологических исследований в пределах этих зон.

Особенности гидрогеологических условий для территории островного развития многолетнемерзлых скальных массивов описаны М.А. Всеволожской (1966 г.), О.П. Павловой и Н.И. Чижовой [41] на примере Алданского района Забайкалья. Они показали, что изучение гидрогеологических условий этих территорий необходимо проводить по основным структурно-тектоническим единицам так же как в немерзлых гидрогеологических массивах, но при этом нужно учитывать наличие мощной толщи мерзлых пород и их островное распространение, что часто определяет условия питания и разгрузки водоносного комплекса.

Материалы, полученные разными авторами, показали, что при проведении региональных инженерно-геологических исследований необходимо учитывать зависимость гидрогеологических условий от региональных и зональных геологических особенностей территории, а сами гидрогеологические условия надо рассматривать как зонально-геологический фактор инженерно-геологических условий. Особенности гидрогеологических условий различных инженерно-геологических регионов, находящихся в разных зонах, хорошо «укладываются» в существующие схемы инженерно-геологического районирования и определяют методику инженерно-геологических исследований в их пределах.

### **Об изменениях гидрогеологических особенностей как показателях региональной трансформации инженерно-геологических условий**

*Влияние антропогенного и техногенного факторов на гидрогеологические особенности массивов* также являлось предметом изучения для многих исследователей. Показано, что оно наиболее существенно при сельскохозяйственной мелиорации земель (осушении и орошении), отборе подземных вод для водоснабжения, поддержании давления в нефтяных пластах, откачках с целью осушения горных выработок, создании водохранилищ и др.

Современные масштабы воздействия человека таковы, что изменения гидрогеологических условий не только проявляются локально, но часто приобретают и региональный характер. Так, хорошо известно, что в результате многолетнего отбора подземных вод в центральной части Московского артезианского бассейна образовалась депрессионная воронка радиусом до 125 км; при этом уровни воды в разных горизонтах каменноугольных отложений понизились на десятки метров. На орошаемых землях, напротив, происходит региональный подъем уровня подземных вод. Практически на всех урбанизированных территориях отмечается загрязнение приповерхностных водоносных горизонтов.

А.В. Авакян и др. (1987 г.) показали, что создание водохранилищ вызывает затопление, подтопление и за-

блачивание обширных территорий. На территории Восточно-Европейской платформы создание только крупных водохранилищ привело к затоплению 3,2 млн га земель. По данным института «Гидропроект» и других организаций, только в лесной и лесостепной зонах площадь земель, выведенных из нормальной эксплуатации под влиянием подтопления, превышает 330 тыс. га [18]. В результате строительства атомных электростанций также происходят изменения положения уровня подземных вод, их химического состава, минерализации. Это приводит к повышению уровня грунтовых вод, скорость которого составляет 1–2 м/год и распространяется на площадь радиусом 3–5 км; повышается агрессивность подземных вод и т.д. [18].

Гражданское и промышленное строительство также приводит к изменению гидрогеологических условий и подтоплению территорий. На Украине подтопление проявляется в 70–75% городов, в Западной Сибири — на территориях крупных городов (Томска, Омска, Новосибирска) и вновь построенных населенных пунктов (Уренгоя и др.). Так, на территории Омска уровень первого от поверхности горизонта грунтовых вод за 40 лет поднялся и располагается на глубине 1–2 м [3]. На территории Москвы в отдельных районах наблюдается понижение уровня грунтовых вод, что связано с фильтрацией вод в более глубокие водоносные горизонты в связи с падением в них напоров. Скорость подъема уровня грунтовых вод на территории Волгоградской области в связи с ее хозяйственным освоением колеблется от 0,15 до 1–3 м/год.

Шахтный и карьерный водоотливы на разрабатываемых месторождениях полезных ископаемых приводят к глубоким изменениям гидрогеологических условий — истощению запасов подземных вод, трансформации подземного и поверхностного стока, созданию депрессионных воронок и др. Наиболее активно последние формируются на тех территориях, где водоносные горизонты слабо связаны с атмосферными и поверхностными водами. После выведения отработанных месторождений из эксплуатации происходят дальнейшие постэксплуатационные изменения. (И.Д. Горкин, 1988 г.; Иштев и др., 1999 г.; Ю.Н. Галченко, 2000 г.; М.В. Кочетков г., Г.Н. Кашковский, 2002 г. и др.).

Примеры изменений гидрогеологических условий в связи с мелиоративными работами, линейным строительством и т.д. также имеется множество. Хорошо известно, что гидрогеологические условия — наиболее чувствительный, достаточно быстро изменяющийся под влиянием природных и особенно антропогенных воздействий компонент геологических систем, в т.ч. инженерно-геологических условий. Это следует иметь в виду при инженерно-геологических исследованиях объектов на любых по площади территориях. Из этого следуют два вывода:

- изменения гидрогеологических особенностей как наиболее чувствительных факторов инженерно-геологических условий должны активно учитываться при оценке степени трансформации последних;
- такой подход должен использоваться и при проведении региональных инженерно-геологических исследований на освоенных или осваиваемых территориях.





## Об отражении гидрогеологических характеристик на обзорных, мелко- и среднemasштабных инженерно-геологических картах


Характер и детальность информации о гидрогеологических условиях, отражаемые на инженерно-геологических картах, зависят прежде всего от масштаба карты и ее назначения. На *обзорных картах* инженерно-геологических условий эта информация обычно носит достаточно общий характер. На инженерно-геологической карте СССР масштаба 1:2 500 000, составленной в 1967 г. под редакцией М.В. Чуринова, показаны глубины залегания, напорность и агрессивность подземных вод верхних горизонтов и верховодки (там, где она имеет инженерно-геологическое значение). Глубины залегания имеют градации: 0-5; 0,5-10; 5-10 и более 10 м<sup>3</sup>. Выделены районы с напорными водами и районы, в которых воды, возможно, обладают напором. Показаны углекислотный, общекислотный и сульфатный типы агрессивности. Практически в таком же объеме информация о гидрогеологических условиях отражена на современной инженерно-геологической карте территории Российской Федерации масштаба 1:2 500 000, составленной в 2010 г. коллективом института ВСЕГИНГЕО с привлечением сторонних организаций (МГУ и др.).

На обзорной инженерно-геологической карте Западной Сибири масштаба 1:1 500 000, составленной в 1972 г. большим коллективом авторов (главный редактор — Е.М. Сергеев, заместители главного редактора — А.С. Герасимова, В.Т. Трофимов, Е.Г. Чаповский), гидрогеологическая информация представлена глубиной залегания первого от поверхности водоносного горизонта в метрах и характером агрессивности подземных вод. Выделена гидрокарбонатная, общекислотная и сульфатная агрессивность, показаны неагрессивные и пестрые по агрессивности воды. Агрессивность подземных вод указывается по отношению к обычным и сульфатостойким портландцементам для напорных сооружений при толщине стенки менее 0,5 м и коэффициенте фильтрации 0,2–10 м/сут. Обозначена северная граница области широкого распространения подземных вод континентальной засоленности (по И.К. Зайцеву).

На обзорной карте инженерно-геологических условий Нечерноземной зоны РСФСР масштаба 1:1 500 000, составленной в 1980 г. большим коллективом авторов из МГУ, ряда институтов и производственных объединений Министерства геологии РСФСР, отражена гидрогеологическая информация о глубине залегания грунтовых вод в соответствии с градацией, приведенной в легенде, водах спорадического распространения в пределах стратиграфо-генетических комплексов и формаций доплиоценовых отложений, участках развития грунтовых вод с повышенным (более 1,5 г/л) содержанием соединений железа, участках сосредоточенной разгрузки глубоких подземных вод, расположении таликов в зоне развития многолетнемерзлых пород. Данные об агрессивности подземных вод по отношению к бетону (фоно-

вой для территории) вынесены на врезку. Карта-врезка представлена схемой зональности грунтовых вод масштаба 1:10 000 000, на которой цветом показаны условия формирования и залегания грунтовых вод с выделением зоны преимущественного развития верховодки в условиях отсутствия площадного питания грунтовых вод (с преобладающей глубиной залегания 0-1 м), зоны спорадического распространения грунтовых вод в условиях кратковременного (преимущественно летнего) питания (с преобладающей глубиной залегания 0-3 м) и зоны повсеместного развития грунтовых вод в условиях умеренного сезонного питания (с преобладающей глубиной залегания 5-10 м, реже более). На фоне цвета показана агрессивность грунтовых вод по отношению к бетону с выделением участков: с развитием агрессивности трех типов (общекислотной с  $\text{pH} < 6,5$ , карбонатной с содержанием  $\text{HCO}_3^- < 2$  мг-экв./л, углекислотной с содержанием  $\text{CO}_2 > 15$  мг/л); с преобладающим развитием агрессивности двух типов (карбонатной и общекислотной); с преобладающим развитием углекислотной агрессивности (с содержанием  $\text{CO}_2 > 5$  мг/л).

На *мелкомасштабных* инженерно-геологических картах гидрогеологическая информация несколько детализируется. На карте инженерно-геологических условий юга Красноярского края масштаба 1:500 000, составленной Г.А. Голодковской, М.А. Бурлаковой, А.М. Минервиным, Н.И. Лебедевой и др. в 1968 г., характеристика подземных вод представлена: глубиной залегания (м) первого от поверхности основного водоносного горизонта порово-трещинно-пластовых вод, верховодки и временного водоносного горизонта; водообильностью первого от поверхности водоносного горизонта, выраженной преобладающим удельным дебитом водопунктов (л/с). Показаны подземные воды с интенсивностью карбонатной агрессии более 1. Указана обводненность пород с преимущественным развитием трещинных вод, выраженная через преобладающий модуль родникового стока (л/с на 1 км<sup>2</sup>); обособлены районы с неглубоким залеганием напорных вод (менее 20 м).

На *среднемасштабных* инженерно-геологических картах гидрогеологическая информация показывается достаточно детально. Так, в типовой легенде карты инженерно-геологических условий и на макете карты масштаба 1:200 000, составленной Е.С. Мельниковым, Н.Г. Верейским, В.П. Лазаревым и др. в 1976 г., показаны: глубина залегания первого от поверхности водоносного горизонта (комплекса) и верховодки; агрессивность подземных и поверхностных вод по отношению к бетону. Градации глубин залегания грунтовых вод указываются в пределах контура распространения горных пород одного петрографического состава первого от поверхности стратиграфо-генетического комплекса. Выделены интервалы глубин: менее 2; 2–5; 5–10; более 10 м и 2–10 м для собственно грунтовых вод, верховодки и грунтовых вод таликов. Агрессивность показана в кружках с заливкой синим цветом разных сегментов для выщелачивающей, общекислотной, углекислотной и сульфатной агрессивности. Обозначены два типа болот: низинные и комплексные (верховые и переходные); бугристые с участками гряздово-мочажинных. 

<sup>3</sup> На карте М.В. Чуринова градации глубин залегания перекрывают друг друга.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алекин О.А.* К вопросу о химической классификации природных вод // Вопросы гидрохимии. Труды НИУ ГУГМС. Л.: Гидрометеоздат, 1946. Сер. IV. Вып. 32. С. 26-39.
2. *Аникеев А.В.* Суффозия: классификация, механизм и кинематика процесса // Геоэкология. 2006. № 2. С. 151-155. № 6. С. 544-553.
3. *Барац Н.И.* Инженерно-геологические условия г. Омска и их изменение в результате деятельности человека: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 1974. 20 с.
4. *Веригин Н.Н., Коноплянцев А.А., Пиннекер Е.В., Плотников Н.А., Фролов Н.М., Швец В.М.* Хронология нововведений в гидрогеологии (научные идеи, события, факты) // Водные ресурсы. 1990. № 4. С. 126-136.
5. *Всеволожский В.А.* Основы гидрогеологии. М.: Изд-во МГУ, 2007. 448 с.
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. *Дзекцер Е.С.* Основные закономерности формирования процесса подтопления застраиваемых территорий грунтовыми водами // Процессы подтопления застроенных территорий грунтовыми водами (прогноз и защита). М.: Наука, 1985. С. 5-11.
8. *Дзекцер Е.С., Гавшина З.П., Казенов С.М. и др.* Вопросы методики мелкомасштабного районирования застраиваемых территорий по степени потенциальной подтопляемости грунтовыми водами // Инженерная геология. 1984. № 5. С. 23-32.
9. *Достовалов Б.Н., Кудрявцев В.А.* Общее мерзлотоведение. Изд-во МГУ, 1967. 402 с.
10. *Ершова С.Б.* Анализ новейших движений при инженерно-геологическом районировании (на примере Западно-Сибирской плиты). М.: Изд-во МГУ, 1976. 143 с.
11. *Зайцев И.К.* Некоторые вопросы терминологии и классификации подземных вод // Труды ВСЕГЕИ. Новая сер. 1961. Вып. 46. С. 111-160.
12. *Зайцев И.К., Толстихин Н.И.* Классификация подземных вод и горных пород — основа гидрогеологического картирования и районирования // Проблемы гидрогеологического картирования и районирования. Л., 1971. С. 4-16.
13. *Зверев В.П.* Гидрогеохимические исследования системы «гипсы — подземные воды». М.: Наука, 1967. 99 с.
14. *Зверев В.П.* Подземные воды земной коры и геологические процессы. М.: Научный мир, 2006. 236 с.
15. *Золотарев Г.С.* Инженерная геодинамика. М.: Изд-во МГУ, 1983. 328 с.
16. *Ильин А.Н., Капустин А.П., Коган И.А. и др.* Карстовые явления в районе г. Дзержинска Горьковской области. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 121 с.
17. Инженерная геология СССР. В 8 томах. М.: Изд-во МГУ, 1977.
18. Инженерная геология СССР. В 2 книгах. Кн. 2: Платформенные регионы европейской части СССР / под ред. И.С. Комарова, Д.Г. Зилинга и В.Т. Трофимова. М.: Недра, 1991. 357 с.
19. Инженерная защита территории от затопления и подтопления. СНиП 2.06.15-85. М.: Госстрой СССР, 1988.
20. *Истомина В.С.* Фильтрационная устойчивость грунтов. М.: Госстройиздат, 1957. 295 с.
21. *Казаков К.Я.* Суффозионные процессы на Русской равнине и смежных территориях // Известия ВГО. 1981. Т. 113. Вып. 1. С. 44-48.
22. *Казакова И.Г.* Принципы гидрогеологического районирования территорий для оценки специфики развития подтопления // Геология и разведка. 1997. № 4. С. 80-89.
23. *Казакова И.Г., Слинко О.В.* Принципиальные гидрогеологические схемы развития подтопления на застроенных территориях // Геология и разведка. 1996. № 2. С. 89-94.
24. *Казакова И.Г., Слинко О.В.* Проблема подтопления на территории России и возможные пути ее решения // Геоэкология. 1993. № 1. С. 43-50.
25. *Каменский Г.Н.* Основы динамики подземных вод. В 3 частях. М.-Л.: Госгеолитиздат, 1933, 1935, 1943.
26. *Каменский Г.Н.* Зональность грунтовых вод и почвенно-географические зоны // Труды МГРИ. 1954. Т. 26. С. 65-75.
27. Карта районирования территории УССР по условиям и степени подтопления масштаба 1:1 000 000 / гл. ред. П.Н. Стрчак. Киев, 1986.
28. *Кирюхин А.В.* Региональная гидрогеология. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского государственного горного института, 2005. 344 с.
29. *Кирюхин А.В., Толстихин Н.И.* Гидрогеология зарубежной Европы. Л.: Изд-во Ленинградского горного института, 1986. 100 с.
30. *Кирюхин А.В., Толстихин Н.И.* Региональная гидрогеология. М.: Недра, 1987. 382 с.
31. *Кирюхин В.А., Коротков А.И., Павлов А.Н.* Общая гидрогеология. Л.: Недра, 1988. 359 с.
32. *Коломенский Н.В.* Общая методика инженерно-геологических исследований. М.: Недра, 1968. 342 с.
33. *Королев В.А.* Мониторинг геологической среды. М.: Изд-во МГУ, 1995. 270 с.
34. *Ломтадзе В.Д.* Инженерная геология. Инженерная геодинамика. Л.: Недра, 1977. 479 с.
35. Методическое руководство по гидрогеологической съемке масштабов 1:1 000 000 — 1:500 000 и 1:200 000 — 100 000 / под ред. А.А. Макковеева и А.С. Рябинченкова. М.: Госгеолтехиздат, 1961. 319 с.
36. Методическое руководство по инженерно-геологической съемке масштаба 1:200 000 (1:100 000 — 1:500 000). М.: Недра, 1978. 391 с.
37. Методическое руководство по составлению гидрогеологических карт 1:1 000 000 — 1:500 000 и 1:200 000 — 1:100 000 / под ред. М.Е. Альтовского. М.: Госгеолтехиздат, 1960. 50 с.
38. *Мироненко В.А.* Динамика подземных вод. М.: Недра, 1983. 357 с.
39. *Мироненко В.А.* Динамика подземных вод. М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2005. 519 с.
40. *Мироненко В.А., Шестаков В.М.* Основы гидрогеомеханики. М.: Недра, 1974. 296 с.



41. Павлова О.П., Чижова Н.И. Особенности формирования и режима подземных вод нижнекембрийского и архейского водоносных комплексов в области развития многолетнемерзлых пород (на примере Алданского района) // Мерзлотные исследования. Вып. 4. М.: Изд-во МГУ, 1964. С. 236-254.
42. Питьева К.Е., Брусиловский С.Б., Вострикова Л.Ю., Чесалов С.М. Практикум по гидрогеохимии. М.: Изд-во МГУ, 1984. 254 с.
43. Подтопление / Российская архитектурно-строительная энциклопедия (РАСЭ). М., 1996. Т. III. Ч. I. С. 244-249.
44. Попов И.В. Инженерная геология. М.: Изд-во МГУ, 1959. 510 с.
45. Роговская Н.В. Методика гидрогеологических и инженерно-геологических исследований на массивах орошения. М.: Госгеолтехиздат, 1956. 136 с.
46. Саваренский Ф.П. Гидрогеология. М.-Л.: Государственное объединенное научно-техническое издательство, 1939. 113 с.
47. Самарина В.С. Гидрогеохимия. Л.: Изд-во ЛГУ, 1977. 359 с.
48. Семенов М.П., Биндеман Н.Н., Гришин М.М. Методика инженерно-геологических исследований для гидротехнического строительства. М.-Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1937. 232 с.
49. Силин-Бекчурин А.И. Специальная гидрогеология. М.: Госгеолтехиздат, 1951. 394 с.
50. Слинко О.В. Учет специфики гидрогеологических условий при инженерно-геологических изысканиях // Геоэкология. 2000. № 5. С. 457-466.
51. Слинко О.В., Казакова И.Г., Ратиев А.А. Инженерно-геологическое обоснование защиты территорий населенных пунктов Калмыкии от подтопления // Геоэкология. 1993. № 3. С. 37-43.
52. Справочник гидрогеолога / под общ. ред. М.Е. Альтовского. М.: Госгеолтехиздат, 1962. 615 с.
53. Справочное руководство гидрогеолога. Том 1 / под ред. В.М. Максимова. Л.: Недра, 1979. 512 с.
54. Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы. М.: Недра, 1985. 332 с.
55. Трофимов В.Т., Аверкина Т.И. Теоретические основы региональной инженерной геологии. М.: ГЕОС, 2007. 464 с.
56. Трофимов В.Т. Закономерности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий Западно-Сибирской плиты. М.: Изд-во МГУ, 1977. 280 с.
57. Трофимов В.Т. Зональность инженерно-геологических условий континентов Земли. М.: Изд-во МГУ, 2002. 348 с.
58. Хоменко В.П. Закономерности и прогноз суффозионных процессов. М.: ГАЕС, 2003. 214 с.
59. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М.: Недра, 1998. 365 с.
60. Шестаков В.М. Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа. Изд-во МГУ, 1965. 232 с.
61. Щукарев С.А. Современные представления о составе и строении воды // Известия Государственного гидрогеологического института. 1934. № 64. С. 15-48.

# ГЕОТЕХНИКА

Международный журнал для изыскателей,  
проектировщиков и строителей

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

Периодичность в 2015 году:  
**6 номеров**  
Стоимость годовой подписки:  
**3900 рублей**  
[info@geomark.ru](mailto:info@geomark.ru)

