

Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова

Геологический факультет



НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

***ЛОМОНОСОВСКИЕ
ЧТЕНИЯ***

СЕКЦИЯ ГЕОЛОГИИ

***Подсекция
инженерной и экологической геологии***

Руководитель – зав. кафедрой, профессор Трофимов В.Т.

СБОРНИК
ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

Москва
2025

Содержание:

1.	Из опыта промышленного и гражданского строительства на глинистых грунтах Т.И. Аверкина	2
2.	К вопросу о частной классификации инженерно-геологических массивов А.В. Бершов	4
3.	Влияние характеристик литотопа эколого-геологических систем массивов писчего мела на биоценозы М.А. Харьковина, Т.В. Андреева	10
4.	О концепции природоподобных технологий создания техногенных эколого-геологических систем В.А. Королев	12
5.	Пути развития цифровизации и применения технологий искусственного интеллекта в инженерной геологии Р.Ю. Жидков, В.А. Королев	14
6.	Экспериментальное исследование деформационного поведения песчаного грунта при сжатии и сдвиге Н.Б. Артамонова	16
7.	Микроморфологические особенности структурных контактов в глинистых образованиях гидротермального генезиса М.С. Чернов, В.Н. Соколов, А.Б. Ермолинский, О.В. Разгулина ,	18

ИЗ ОПЫТА ПРОМЫШЛЕННОГО И ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НА ГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ

Т.И. Аверкина

Глинистые отложения традиционно считаются не очень надежным основанием инженерных сооружений. Главные проблемы при строительстве на данных грунтах могут быть связаны с их высокой сжимаемостью и низкой несущей способностью, а также развитием набухания и морозного пучения. Каждый из перечисленных факторов, в отдельности и в сочетаниях, может привести к опасным деформациям инженерных сооружений и даже потере их устойчивости.

При проектировании сооружений на глинистых грунтах следует предусматривать возможность развития медленно протекающих и часто неравномерных осадок, которые могут привести к развитию крена сооружений. В строительной практике были случаи отклонения от вертикали на 1,2 м зданий высотой 15 м. Снижение несущей способности изначально довольно надежных грунтов может произойти в процессе эксплуатации инженерных сооружений, в частности, при увлажнении за счет утечек из коммуникаций, подтопления в зоне влияния водохранилищ и т.д. На промышленных площадках существует угроза замачивания агрессивными производственными стоками. Особенно опасно неравномерное увлажнение (или осушение), способствующее появлению неравномерных осадок.

Чтобы обеспечить устойчивость сооружений, можно проводить, как известно, три вида мероприятий: 1) конструктивные, 2) направленные на улучшение свойств грунтов, 3) предохраняющие грунты оснований от негативных изменений в ходе строительства и эксплуатации. Существующий опыт показывает, что при проектировании объектов на глинистых грунтах в определенных условиях могут быть целесообразными следующие мероприятия:

- использование плитных фундаментов со сквозными отверстиями (отверстия необходимы на случай возможного вдавливания свай для выравнивания осадок);
- использование свайных фундаментов;
- предпостроечное уплотнение грунтов;
- создание компенсирующих подушек;
- повышение несущей способности грунтов методами технической мелиорации;
- замена грунтов (применяется, как правило, при их небольшой мощности; в ряде случаев целесообразна частичная замена);
- повышение жесткости сооружений (за счет разбивки на отдельные сектора, устройства

армированных поясов и др.).

Рассмотренные особенности строительства на глинистых грунтах направлены, в основном, на повышение их несущей способности и исключение возможных неравномерных деформаций оснований. Если в ходе строительства или эксплуатации сооружений неравномерные осадки все-таки произошли, и появился опасный *крен*, используется ряд мер по его устранению [2]:

- выравнивание системой плоских домкратов;
- выравнивание свайного фундамента поднятием одной части или опусканием другой;
- вымывание грунта из-под плитного фундамента и замена его твердеющим раствором;
- осушение массива (при необходимости) и закрепление методами технической мелиорации.

Большой опыт строительства на глинистых грунтах накоплен в *Санкт-Петербурге*. В верхней части четвертичного разреза здесь широко развиты слабые глинистые грунты озерно-морского и озерно-ледникового генезиса, перекрытые голоценовыми морскими песками. Именно эта грунтовая толща является основанием исторического центра города. Согласно исследованиям В.А. Васенина, обобщившего данные об осадках более 5000 зданий на территории Санкт-Петербурга, у многих сооружений исторической застройки на протяжении последних полутора столетий не произошло стабилизации осадок, хотя активная фаза развития деформаций занимает 2–4 десятилетия [1]. Чтобы избежать негативных последствий нового строительства, используют щадящие технологии: вместо забивки свай – задавливание, вместо глубокого шпунтового ограждения котлованов – создание короткого шпунта и «жесткого контура».

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова «Исследование многообразия инженерно-геологических условий территории России»

Литература

1. Васенин В.А. Разработка геоинформационной системы по оценке длительных осадок зданий исторического центра Санкт-Петербурга // Инженерные изыскания. 2016, № 10–11. С. 62–70.
2. Гончаров А.А. Исключение неравномерных осадок при возведении зданий в сложных гидрогеологических условиях // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 1. С. 48–52.

К ВОПРОСУ О ЧАСТНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МАССИВОВ

А.В. Бершов

В настоящий момент времени сложилась достаточно уникальная ситуация в системе инженерно-геологических взглядов и знаний о литосфере. С одной стороны, отмечается всё больший технологический прессинг на литосферу - геометрически возрастающее воздействие техносферы на верхние горизонты литосферы, называемую в данном аспекте геологической средой, выражающийся в росте крупных городских агломераций, появлении комплексных заводских площадей и освоении территорий месторождений, находящихся во все более неблагоприятных для такого строительства инженерно-геологических условиях. С другой стороны, фиксируемое изменение климата, особенно заметное в высоких широтах, меняющее в реальном времени как расположение и соотношение зонально-геологических единиц [5], так и физическое состояние – тепловое, водонасыщенное и, конечно, напряженно-деформированное инженерно-геологических массивов, а в след за этим и их реакцию на существующее и будущее инженерной воздействие. С третьей стороны, появление и глубокая проработка математических методов геостатистики и «нейронных сетей», возможностей получения, хранения и обработки «больших данных» позволяет инженер-геологам определять и предсказывать функции «поля геологического параметра» Г.К. Бондарика [1], решая проблему описанную Г.А. Голодковской [2, стр. 35] – «В настоящее время, к сожалению, отсутствуют достаточное количество региональных данных об этих свойствах пород и методы, с помощью которых можно было бы эти характеристики, важные для инженерных обоснований и расчетов, определять рационально, быстро и дешево в количестве, позволяющем ограничить физико-механические и фильтрационно квазиоднородные области массивов непосредственно на картах и в натуре».

Данная ситуация особенно показательна на крупном и детальном уровнях (1:25000 – 1:100), реже среднем, инженерно-геологических исследований и, тем более, изысканий, где **вертикальная изменчивость геологической среды становится сопоставимой с горизонтальной, а затем, с ростом масштабности и детальности, и превосходит последнюю.** Этот факт при решении морфологических и прогнозных инженерно-геологических задач [6] как бы подталкивает исследователей к переходу от псевдотрехмерности – логического соединения инженерно-геологических карт районирования и инженерно-геологических разрезов к истинным трехмерным инженерно-геологическим моделям – **количественным 3D моделям инженерно-геологических массивов.**

Давление описанных выше факторов и практическая необходимость количественных и полуколичественных решений прогнозных типов инженерно-геологических задач ведут к

необходимости создания 3D инженерно-геологических моделей специализированного статического и динамического геологического пространства [3]. Такое моделирование требует разработки дополнительной терминологической базы, более полно отражающей существующую ситуацию и новых специальных (частных) классификаций, которые позволят разработать обоснованную методику 3D моделирования инженерно-геологических массивов и давать четкое полуколичественное понимание специалистам смежных специальностей и особенностях современного состояния ИГМ и инженерно-геологических рисках.

На сегодня в инженерной геологии господствуют два подхода в описании инженерно-геологических массивов (ИГМ) – природно-геологический подход [2, 5] и подход в контексте инженерных воздействий [4, 6, 7]. При этом чрезвычайно важно отметить, что международный подход к систематике инженерно-геологических тел практически не развивался за последние годы, используя в практической деятельности инженерно-геологического моделирования [8, 10] принципы, заложенные в 1976 году Г.А. Голодковской [9]. Анализ обоих подходов, показывает - каждый из них, обладая своими преимуществами, во многом пересекаются и могут быть объединены. С учётом положений о геологических телах и геологическом пространстве [3] могут быть использованы для целей 3D инженерно-геологического моделирования.

Инженерно-геологический массив – это система геологических тел, составляющих любой объем геологического пространства, определенный в зависимости от решаемых инженерно-геологических задач (ретроспективных, морфологических, прогнозных), обладающая иерархической структурой с присущим каждому уровню набором признаков выделения и описания элементов и обладающей пространственной унаследованностью от уровня к уровню, описываемая, при необходимости, во взаимодействии с другими оболочками Земли (гидросферой, атмосферой, биосферой) и космическими телами, применительно к инженерно-хозяйственной деятельности человека, реальной или идеальной.

Важнейшими особенностями ИГМ являются:

- «полубесконечность» (термин предложен Е.А. Вознесенским), действительно в данной системе тел всегда строго определена только верхняя граница – положение поверхности рельефа, которая на данном масштабном уровне геологического пространства определена тектоническим режимом территории и действующими эндо- и экзогенными геологическими процессами, а остальные границы определяются исходя из «принципа «Цели» Г.С. Золотарева и вида решаемой инженерно-геологической задачи. Границы при этом могут быть естественными и искусственными;

- строгая иерархичность от общего к частному, создающая однозначное разбиение геологического пространства на уровни геологических тел от геолого-структурного и стратиграфо-генетического с фациальным подразделением через литологический до

«собственно» инженерно-геологического или уровня геологических тел физического состояния с подуровнем блочных инженерно-геологических тел с геостатистически распределенными инженерно-геологическими свойствами (полями геологического параметра).

Формальное разделение геологического пространства происходит по различным, от уровня к уровню, геологическим маркерам среди которых необходимо выделить и инженерно-геологический маркеры (ИГ-Маркеры) – пространственно-временные отметки в виде точек, кривых или поверхностей, разграничивающие в геологическом пространстве различные состояния геологических тел – «собственно» инженерно-геологических тел. Примерами ИГ-маркеров в вербальной форме могут служить термины, употребляемые инженер-геологами, геотехниками, географами для характеристики и описания состояний, в том числе быстроменяющихся, ИГМ и его частей – рыхлый, мерзлый, трещиноватый, водонасыщенный, выветрелый, просадочный, переуплотненный, растворимый, оползневой, карстовый, суффозионный и т.п.

Принципам создания специализированных, статических и динамических моделей геологического пространства, используемых в геологических науках и в теоретических построениях в инженерной геологии [1–6], следуют и принципы создания 3D моделей инженерно-геологических массивов. Первый принцип 3D моделирования - основанное на иерархических геолого-структурных основах выделение и разделение геологических тел, включая уровень «собственно инженерно-геологических тел» - геологических тел физического состояния геологического пространства с безусловным учетом характера геологического типа границ и структурных соотношений тел. Второй принцип основан на геостатистическом подходе к определению и положения структурных, генетических, литологических границ (поверхностей любой формы) и границ состояния, и к анализу поля геологических параметров, на основании которого строятся блочные или твердотельные модели. Наиболее подходящей для практического применения формой, на данном этапе исследований, на взгляд автора, является фасетная или аддитивная [2] классификация ИГМ для целей 3D моделирования масштабов 1:25000 – 1:100 с возможностью её трансформации в фасетно-иерархическую [5].

В целом, последовательность аддитивным признаков, описывающих частную классификацию ИГМ по физическому состоянию выглядит следующим образом: 1. описание характера рельефа; 2. описание класса грунтов; 3. описание структурно-геологических признаков; 4. описание физического состояния А – **напряженно-деформированного** по соотношению главных напряжений и их положения в пространстве; 5. описание физического состояния Б – **водонасыщенного** по формируемому поровому давлению и взвешиванию грунтов массива; 6. описание физического состояния В – **теплого** по температуре и механическому поведению массива; 7. описание физического состояния Д – изменяющегося в

физическом времени состояния т.е. по наличию и характеру развивающихся геологических и инженерно-геологических процессов в ИГМ. Каждый признак делится на значения (качественные и количественные), образующих полное пространство описания, т.е. других значений у этого признака нет. Важно, что в разных пространственных положениях массива могут быть реализованы разные значения признака и при классифицировании внутри признака добавляются дефиниции пока не будут описаны все формы, вещество, структура и состояния, слагающие описываемы ИГМ.

В качестве примера применения частного классифицирования можно рассмотреть один из самых распространенных в пределах Восточно-Европейской платформы ИГМ – субгоризонтальный (1), дисперсный (2), горизонтально-слоистый (3), сильно переуплотненный и нормально уплотненный (4), всасывания, слабофильтрующий и водонасыщенный (5), талопластичный (6), сезонно мерзлый и пучинистый (7). Как видно из классификационного описания, легко определить необходимые методы исследования такого массива, спрогнозировать его поведение в реальном времени и решить, создав на основе полуколичественного описания 3D модель ИГМ, количественную прогнозную задачу при строительстве любого площадного сооружения.

В табличной форме частная классификация инженерно-геологических массивов по физическому состоянию для инженерно-геологических моделей крупных масштабов 1:25000–1:100 представлена в таблице ниже.

В заключении, после введения нового класса геологических тел, слагающих геологическое пространство – класса тел физического состояния или «собственно» инженерно-геологических тел, являющихся объектами реального мира, наравне с тектоническими, стратиграфическими и литологическими телами, горными породами, подземными водами, льдами и кристаллами, автор попытался сформулировать новое определение. Инженерная геология – это наука геологического цикла об изменениях состояния геологических тел во времени и пространстве применительно к их инженерно-хозяйственному освоению потенциальному или реальному.

Подразделения инженерно-геологических массивов по характерным признакам:		Названия типов инженерно-геологических массивов по значениям признака	
1	По характеру рельефа	субгоризонтальный, присклоновый	
2	По классу грунтов, слагающих массив	дисперсный	скальный, скади (по [7])

3	По структурно-геологическим признакам	горизонтально-слоистый, с резкими врезами, линзовидный, рельефоконфорный; моноклиально-наклонный, комплексный	моноклиальный, просто складчатый, коробчатый, складчатый, массивный, системно-разрывный, системно-трещиноватый, рельефоконфорный, комплексный
4	По физическому состоянию А (напряженно-деформированному, по соотношению и ориентировке осей главных напряжений в пространстве)	нормально уплотненный, переуплотненный, сильно переуплотненный рельефоориентированный, комплексный;	гравитационный, тектоно-гравитационный, преимущественно тектонический рельефоориентированный, комплексный
5	По физическому состоянию Б (водонасыщению, по формируемому поровому давлению и взвешиванию грунтов массива)	всасывания, водонасыщенный, слабофильтрующий;	не взвешиваемый поровый, взвешиваемый трещинный (?)
6	По физическому состоянию В (тепловому, по температуре и механическому поведению массива)	квазиупругомерзлый, пластичномерзлый, пластичноталый, пластичнонемерзлый;	упругоморозный, упруготалый, упругомерзлый, квазиупругомерзлый, пластичномерзлый, пластичноталый, пластичнонемерзлый
7	По физическому состоянию Д (по изменяющемуся в физическом времени состоянию массива (происходящим геологическим процессам))	уплотняемый, набухающий, просадочный, выветриваемый, оползневой, суффозионный, селевой, эрозионный, абразионный, заболачиваемый, эоловый, сезонно мерзлый, сезонно талый, пучинистый, термокарстовый, промерзающий, протавивающий, неотектонический, беспроцессный;	выветриваемый, оползневой (в широком понимании гравитационных процессов), карстовый, суффозионный, эрозионный, абразионный, реологический, неотектонический, вулканический, метасамотический, беспроцессный

Литература

1. Бондарик Г.К. Методика инженерно-геологических исследований. Учебник для вузов. М.: Недра, 1986. 333 с.
2. Голодковская Г.А. и др. Инженерно-геологическая типизация и изучение скальных массивов. М.: Изд-во МГУ, 1986. 272 с.
3. Косыгин Ю.А., Воронин Ю.А. Геологическое пространство как основа структурных построений // АН СССР. Сибирское отделение. Геология и геофизика. 1965. № 5. С. 7–11.
4. Панюков П.Н. Инженерная геология. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Недра, 1978. 296 с.
5. Сергеев Е.М. и др. Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы. М.: Недра, 1985. 332 с.
6. Трофимов В.Т. Инженерная геология: учебник. М., Изд-во МГУ, 2023. 573 с.
7. Чернышев С.Н. Принципы классификации грунтовых массивов для строительства // Вестник МГСУ. 2013. № 9. С. 41–46.
8. He H. et al. 3D geological modeling and engineering properties of shallow superficial deposits // Tunnelling and Underground Space Technology. 2020. 100. P. 1–17.
9. Matula M. et al. Engineering geological maps. A guide to their preparation. Paris. The Unesco Press, 1976, 79 p.
10. Petrone P. et al. Engineering geological 3D modeling and geotechnical characterization in the framework of technical rules for geotechnical design: the case study of the Nola's logistic plant (southern Italy) // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2023. 82:12. P. 1–18.

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИТОТОПА ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ МАССИВОВ ПИСЧЕГО МЕЛА НА БИОЦЕНОЗЫ

М.А. Харькина, Т.В. Андреева

Эколого-геологическая система – составная часть экосистемы, когда в качестве среды обитания живых организмов рассматриваются литотоп и эдафотоп. Литотоп включает массив грунтов разного состава и состояния, подземные воды, рельеф, геохимические и геофизические поля, современные эндо- и экзогенные процессы. Литотоп влияет на биоценоз — сообщество организмов, включающее совокупность животных, растений, грибов и микроорганизмов, населяющих относительно однородное жизненное пространство, в нашем случае массивы писчего мела. Писчий мел – это органогенная порода, состоящая преимущественно из кальцитовых остатков морских планктонных водорослей (кокколитофорид), выходы которой на поверхность известны в центральной части Русской плиты.

Массивы писчего мела на ряде территорий являются *рельефообразующими*. Благодаря непрочным структурным связям между скелетными остатками и их обломками и высокой дисперсности меловых грунтов их массивы легко поддаются *выветриванию*. При выходе меловых грунтов на дневную поверхность на участках массива с более высокой сцементированностью частиц за счет окремнения образуются останцы меловых массивов, называемые «меловыми дивами». «Меловые дивы» используются человеком как ресурсы геологического пространства, в них в ряде случаев обустраиваются подземные сооружения.

По *минеральному составу* писчий мел состоит в основном из карбоната кальция. Так, состав писчего мела верхнего отдела меловой системы туронского яруса района г.Курчатова, определенный В.В. Крупской с помощью рентгеновского дифрактометра ULTIMA-IV, состоит преимущественно из кальцита (до 99,6%), а песчанистые и глинистые его разновидности содержат не только кальцит (38,3%), но и кварц (51,9%) и иллит (7,45%). Содержание других минералов составляет первые проценты. При выходе меловых грунтов на поверхность высокое содержание карбоната кальция обуславливает развитие на них кальцефитной растительности. Так, на территории музея-заповедника Дивногорье (Воронежская область) широко распространены богатые видами кальцефитно-степные сообщества, в состав которых кроме обязательного компонента – осоки низкой (*Carex humilis*) – входят проломник мохнатый (*Androsace villosa*), бурачок ленский (*Allisum lenense*), полынь шелковистая (*Artemisia sericea*), шиверекия подольская (*Schivereckia podolica*) и другие. Такие сообщества встречаются на склонах, слабо затронутых почвообразованием.

Особенности писчего мела способствуют освоению ресурсов подземного пространства

биотой. Низкие показатели плотности (1,76-2,15 г/см³) и прочности на одноосное сжатие (0,3-1 МПа для образцов писчего мела района Курской области), высокая пористость (до 50%), их легкая дезагрегация на отдельные частицы, дающая возможность определять даже гранулометрический состав этих полускальных грунтов, в котором преобладает фракция 0,005-0,001 мм, благоприятно сказывается на возможности расселения живых организмов, особенно членистоногих, использующих в качестве жилищ поры и трещины в массивах.

Геофизические поля верхней части массивов писчего мела, способствуют расселению беспозвоночных. Речь идет о специфике распределения температур в массиве и освещенности его поверхности. Обитаемые высокопористые горизонты приповерхностной части массива (Белгородская обл.) характеризуются более низкой температурой в летние месяцы и незначительной разницей дневных и ночных температур. По данным А.В. Присного суточные вариации температуры на поверхности на 4-20°C превышают таковые внутри массива на глубине 10-30 см, что способствует созданию благоприятных условий для жизни. Обладая высоким альбедо, массивы писчего мела способны обеспечивать дополнительный по отношению к другим источникам тепла нагрев живых тел, находящихся на его поверхности, что особенно сказывается на членистоногих, если они оказываются на «светлом» фоне. Даже кратковременный их выход на открытую поверхность массивов грозит быстрым перегревом и потерей влаги. Поэтому выходы писчего мела на поверхность обладают различной пригодностью для расселения беспозвоночных, в том числе членистоногих. Субвертикальные обнажения с протяженными узкими трещинами, в которые проникают корни растений, и накапливается много органики, заселяются детритоядными мокрицами, хищными многоножками и пауками-засадниками из семейства Clubionidae и Gnaphosidae, на поверхности обнажений обитают пауки из семейства Salticidae. В основании обнажений, где скапливается щебень и имеются обширные полости, в которые проникает дневной свет, попадает крупнодисперсная органика и поддерживается высокий уровень влажности, обитают мезо- и гигрофильные детритоядные членистоногие (мокрицы Oniscidae, кивсяки Blaniulidae, Julidae), днем находятся сумеречные и избегающие перегрева дневные хищники (жуки из семейств Carabidae Staphylinidae, Histeridae, Lycosidae и пр.)

Работа выполнена в рамках НИР 121042200089-3 «Эколого-геологические системы: структура, многообразие, систематика и их анализ» («Ecological-geological systems: structure, diversity, systematic and analysis»).

О КОНЦЕПЦИИ ПРИРОДОПОДОБНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СОЗДАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В.А. Королев

Человеческое сообщество в возрастающих объемах увеличивает объем техносферы, создавая всё новые и новые технолитосистемы (от городских до производственных, горнопромышленных, сельскохозяйственных и т.п.). При этом, по-сути, мы создаем техногенные эколого-геологические системы (ЭГС) с определёнными характеристиками, которые как правило целенаправленно человеком не регулируются. Это приводит к обострению различных экологических проблем - техногенные ЭГС вступают в противоречие с окружающей природной средой [1-3].

Одним из способов устранения этого противоречия может быть применение концепции **природоподобных технологий (ППТ)** при создании техногенных ЭГС. Это такие технологии, которые воспроизводят системы и процессы живой природы в виде технических систем и технологических процессов, интегрированных в естественный природный круговорот веществ. Их основными принципами являются [4]: 1). *Экологичность*. Они не должны нарушать окружающую среду; 2). *Природоподобие*. Эти технологии должны использовать принципы и закономерности, заложенные природой и доказавшие свою эффективность, сотнями миллионов лет существования жизни на земле; 3). *Своевременность*. В природе все процессы происходят в определенный момент и все действия поэтапны; 4). *Завершенность*. В природе все циклично, а значит, при не доведении какого-либо процесса до логического завершения, не начинаются другие; 5). *Отсутствие лишнего*. Природа пользуется ровно тем, что имеет, но использует имеющиеся ресурсы эффективно. Она не выводит двух птенцов из одного яйца, пусть он один, зато качественный; 6). *Польза*. Ничего в природе не производится просто так. Польза процесса должна быть очевидной; 7). *Взаимосвязанность*. В природе прослеживаются связи между различными системами. Обобщая эти принципы, можно сказать, что они, по-сути, раскрывают более детально концепцию устойчивого развития - устойчивость экосистем [1-3,5]. Согласно Н.Ф.Реймерсу [5], им соответствуют так называемые *законы оптимальности*.

Природная ЭГС испытывает внешние воздействия, которые лежат в границах естественной изменчивости абиотических факторов (температуры, влажности воздуха, освещенности и т.п.), и называемые по [1] *ординарными*. При этих воздействиях ЭГС находится в климаксовой фазе устойчивости - она, реагируя на внешние воздействия, меняется лишь количественно, сохраняя и воспроизводя свое состояние. Например, в отношении загрязняющих веществ (ЗВ), с которыми может справиться и «переработать» данная ЭГС, не выйдя из

климаксового состояния, используют понятие «ассимиляционный потенциал» [1], под которым понимают такой объем загрязнения им, превышение которого выводит экосистему из климаксового состояния и, соответственно, инициирует восстановительную (вторичную) сукцессию. Если же воздействие выводит экосистему из климаксового состояния, но не разрушает ее, то, согласно [1], такое воздействие называется *экстраординарным*. Из этого определения следует, что экстраординарное возмущение инициирует процесс восстановительной, или вторичной, сукцессии в экосистеме.

Согласно [1] выделяется 3 типа устойчивости экосистем: 1-й – когда экосистема не выводится из климаксового состояния, 2-й – когда возврат к климаксовому состоянию обеспечивается восстановительной сукцессией, 3-й – когда в результате эволюционного процесса экосистема трансформируется в другую экосистему. В соответствии с этим нами выделяется те же три уровня устойчивости ЭГС. Для целей создания природоподобных техногенных ЭГС необходимо учитывать эти уровни и условия природной устойчивости ЭГС, рассмотренные выше. В техногенных ЭГС появляется новый важный компонент, отсутствующий в природных ЭГС, - техническая система (инженерное сооружение и т.п.), которая оказывает техногенное воздействие на ЭГС и рассматривается как источник этих воздействий. Для реализации ППТ необходимо обеспечить в создаваемой техногенной ЭГС такие техногенные воздействия, которые не приводили бы к выходу данной ЭГС за границы климаксового состояния - не превышали бы ее ассимиляционный потенциал и несущую ёмкость. Таким образом, для разработки ППТ с целью создания устойчивых техногенных ЭГС необходимо знать и учитывать параметры устойчивости соответствующих им природных аналогов ЭГС.

Литература

1. Данилов-Данильян В.И. Об устойчивости экосистем // Экосистемы: экология и динамика. 2017. Т. 2. № 1. С. 5–12.
2. Королёв В.А. Экологическая геокибернетика: Теория управления эколого-геологическими системами. М.: ООО Сам Полиграфист, 2020. 440 с.
3. Пегов С.А. Устойчивое развитие биосферы // Вестник РАН. 2007. Т. 77. № 12. С. 1069–1076
4. Природоподобные технологии. 2020. [Электронный ресурс: <https://dzen.ru/a/Xq2UQ2ztskAkgxZz>]. Дата обращения 22.02.2025.
5. Реймерс Н.Ф. Экология (теория, законы, правила, принципы и гипотезы). М.: Журнал «Россия Молодая», 1994. 367 с.

ПУТИ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ И ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Р.Ю. Жидков¹, В.А. Королев²

¹ГБУ «Мосгоргеотрест», rzhidkov@gmail.com; ²МГУ, va-korolev@bk.ru

Современный мировой тренд развития инженерной геологии показывает, что оно будет во многом основываться на разработке и применении гибридных систем, сочетающих различные методы искусственного интеллекта (ИИ), традиционное программирование и инженерно-геологические исследования [1]. В настоящее время Россия существенно отстает в сфере применения технологий ИИ в инженерной геологии от других стран мира. По числу публикаций в этой области на первом месте находятся Китай, далее идут Иран и США, Россия же находится во втором десятке стран.

Разработка этого вопроса поможет эффективно ответить на вызовы, стоящие перед Россией в области обеспечения ее технологического суверенитета, существенно повысить уровень подготовки высококлассных специалистов инженер-геологов. В этой связи основными путями дальнейшего развития цифровизации и применения технологий ИИ в инженерной геологии, по нашему мнению, являются следующие направления:

1. Общая методика применения технологий ИИ и машинного обучения в инженерной геологии. Направление включает методику разработки, валидации и верификации инженерно-геологических моделей машинного обучения [2, 3], и разработку принципов создания специализированных инженерно-геологических баз больших данных для их обработки технологиями ИИ.

2. Технологии ИИ в решении задач грунтоведения. Цель направления – разработка технологий ИИ для решения задач грунтоведения. Основные научные и практические проблемы, разрабатываемые в данном направлении:

- a) методика моделирования и прогнозирования изменения состава, строения и свойств грунтов в ходе природных и техногенных процессов с использованием технологий машинного обучения;
- b) обработка результатов полевого и лабораторного инженерно-геологического изучения грунтов, на основе технологий ИИ;
- c) методика верификации и валидации результатов инженерно-геологических изысканий и изучения грунтов с применением методов машинного обучения;
- d) Разработка интеллектуальных систем анализа грунтоведческих данных.

3. Технологии ИИ в решении задач инженерной геодинамики. Цель направления –

разработка технологий ИИ для решения задач инженерной геодинамики. Основные научные тематики, реализуемые в данном направлении:

- a) Повышение точности и автоматизация обработки результатов полевых инженерно-геологических изысканий на основе технологий ИИ;
- b) Разработка методики обработки результатов дистанционного инженерно-геологического зондирования на основе технологий ИИ;
- c) Обоснование систем инженерно-геологического мониторинга за опасными геологическими процессами на основе возможностей ИИ, проработка путей их интеграции с системами предупреждения катастрофических последствий при их активизации.

4. Технологии ИИ в решении задач региональной инженерной геологии. Цель направления – разработка технологий ИИ для решения задач региональной инженерной геологии. Основные научные тематики, реализуемые в данном направлении:

- a) Разработка технологии регионального трехмерного моделирования для повышения и автоматизации инженерно-геологического картографирования и пространственного анализа инженерно-геологических данных на основе ИИ;
- b) Обоснование организации инженерно-геологического мониторинга отдельных регионов РФ на основе возможностей ИИ;
- c) Методика комплексной разработки и реализации систем с применением ИИ и технологий машинного обучения в области инженерно-геологических изысканий и градостроительного проектирования.
- d) Выявление сложно формализуемых закономерностей регионального изменения инженерно-геологических условий с применением технологий ИИ.

Литература

1. Королёв В. А. О задачах цифровизации и искусственного интеллекта в инженерной геологии // Инженерная геология. 2021. Т. 16. № 1. С. 10–23.
2. Оценка точности и достоверности инженерно-геологических моделей на основе принципов машинного обучения / Р. Ю. Жидков, Н. В. Абакумова, Н. Н. Ракитина и др. // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2023. № 6. С. 4–15.
3. Применение технологий машинного обучения для литологического расчленения трёхмерных геологических моделей / Р. Ю. Жидков, В. С. Рекун, Н. В. Абакумова и др. // Сергеевские чтения. Вып. 25. Мат. годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инж. геол. и гидрогеол. М.: Геоинфо, 2024. С. 364–368.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ ПЕСЧАНОГО ГРУНТА ПРИ СЖАТИИ И СДВИГЕ

Н.Б. Артамонова

Для численного моделирования упругопластического деформирования водонасыщенных песчаных грунтов под нагрузкой предполагается использовать определяющие соотношения деформационного типа. Цель настоящего исследования – определение материальных функций деформационной теории пластичности для песка. Для исследований были выбраны два песка кварцевого состава различной крупности – крупный и мелкий [1].

Опыт на сжатие песка в деформируемой оболочке. Для определения коэффициента поперечной деформации песчаных грунтов разработана схема опыта на сжатие песка в деформируемой оболочке. Эксперименты реализованы в испытательной машине Zwick Z100 в НИИ механики МГУ. В процессе опытов задавались вертикальные перемещения образца, измерялись вертикальное напряжение и кольцевая деформация оболочки. В результате экспериментов были рассчитаны зависимости коэффициента Пуассона от объемной деформации для сухих и водонасыщенных крупного и мелкого песков (рис. 1). Было обнаружено, для конкретного типа и состояния песка коэффициент Пуассона слабо меняется (не более чем на 10%) и выходит на константу с увеличением величины объемной деформации. Следовательно, в модели коэффициент Пуассона можно принимать постоянной величиной для конкретного типа и состояния песчаного грунта. Аналогичная тенденция изменения коэффициента Пуассона песка при увеличении интенсивности деформаций отмечена в книге [2].

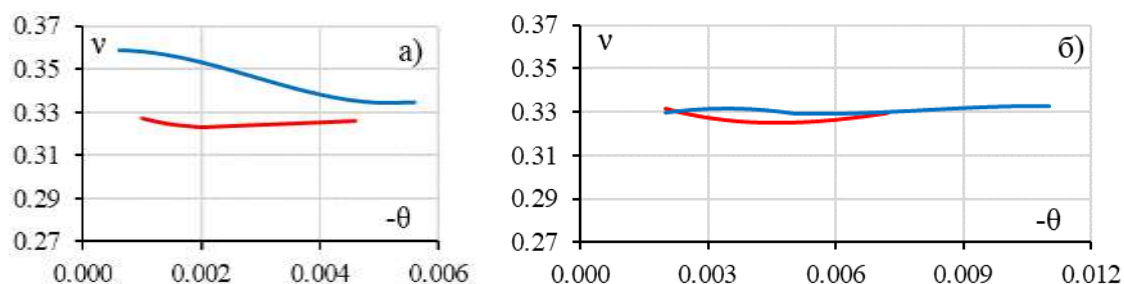


Рис. 1. Осредненные графики зависимости коэффициента Пуассона от объемной деформации для крупного (а) и мелкого (б) песков – сухих (красные) и водонасыщенных (синие).

Испытания песчаных грунтов на многоплоскостной срез. Опыты на сдвиг песчаных грунтов определялись с помощью установки простого сдвига (многоплоскостного среза) ООО НПП «Геотек». Испытания проводились в кинематическом режиме приложения сдвигающей нагрузки с заданной постоянной скоростью деформации сдвига по схеме консолидировано-

дренированного сдвига (КД): 1) при постоянном вертикальном напряжении ($\sigma_{11}=\text{const}$), 2) при постоянном объеме образца. Во второй серии опытов вертикальное напряжение менялось в процессе эксперимента ($\sigma_{11}\neq\text{const}$). Как оказалось, зависимости максимальных касательных напряжений σ_{12}^{max} , при которых происходило разрушение песчаных образцов, от вертикального напряжения σ_{11} практически совпали в этих двух сериях экспериментов. На рис. 2 для примера приведена зависимость σ_{12}^{max} от σ_{11} для крупного сухого песка.

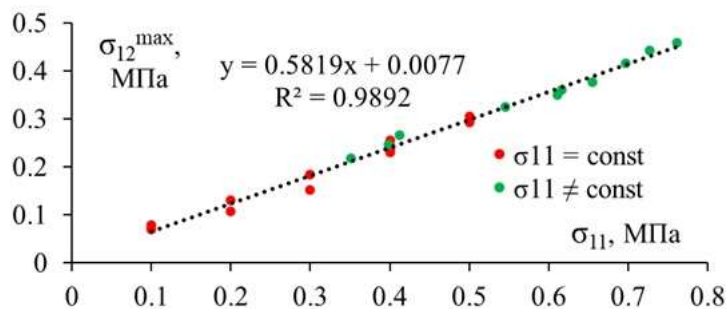


Рис. 2. Зависимость максимального касательного напряжения от вертикального напряжения для крупного сухого песка для двух серий опытов на многоплоскостной срез (при $\sigma_{11}=\text{const}$ и $\sigma_{11}\neq\text{const}$). (Пунктирной линией показана линия тренда.)

Были построены диаграммы «интенсивность напряжений – интенсивность деформаций» и «объемные напряжения – объемные деформации», для вычисления которых использовались значения коэффициента Пуассона, полученные в опыте на сжатие песка в деформируемой оболочке.

Выводы. Проведена серия экспериментов, необходимых для определения материальных параметров деформационной теории пластичности. Предложена схема опыта на сжатие песка в деформируемой металлической оболочке для определения коэффициента Пуассона.

Опыты на сдвиг проводились на автоматизированном испытательном комплексе АСИС, приобретенном за счёт средств Программы развития Московского университета (контракт № 1040-44-2019 от 24.09.2019).

Литература

- ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация». М.: Стандартинформ, 2020.
- Зарецкий Ю.К. Лекции по современной механике грунтов. Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 1989. 607 с.

МИКРОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНЫХ КОНТАКТОВ В ГЛИНИСТЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО ГЕНЕЗИСА

М.С. Чернов, В.Н. Соколов, А.Б. Ермолинский, О.В. Разгулина

Гидротермальные глинистые образования – это один из наименее изученных с инженерно-геологической точки зрения типов глинистых грунтов на территории России.

В литературе гидротермальные глинистые образования исторически относят к последней (финальной) стадии процесса гидротермальной аргиллизации. Впервые термин «аргиллизация» был употреблен в словаре Ф.Ю. Левинсона-Лессинга 1893 г. Однако, в то время термин «аргиллизация» не вошел в употребление. В 1941 г. Т.С. Лавринг для обозначения продуктов гидротермального изменения пород ввел понятие «глинистое изменение» (*argillic alteration*), производным от которого явился термин «аргиллизация». Это было второе рождение термина, на этот раз ставшего популярным. При этом, в основу содержания термина «аргиллизация» был положен минеральный состав новообразований, а не свойства пород [1].

В современном понимании аргиллизация – это процесс замещение ряда минералов вмещающих пород глинистыми минералами, и относится к одному из типичных процессов гидротермального преобразования алюмосиликатных пород. При этом, под гидротермальным процессом понимается взаимодействие гидротерм с вмещающими горными породами, происходящее в результате изменения физико-химических условий при циркуляции растворов в земной коре или в отдельных геологических структурах (гидротермальных системах) [2].

Исходя из этого, гидротермальные глинистые образования – это результат процесса гидротермального преобразования алюмосиликатных пород, приводящий к замещению первичных минералов глинистыми минералами, и происходящий при взаимодействии гидротерм с вмещающими горными породами, за счет изменения физико-химических условий при циркуляции растворов в земной коре или в отдельных геологических структурах (гидротермальных системах).

Проявления процессов аргиллизации, сохранившиеся до наших дней, в основном распространены в породах послепермского времени. Однако наиболее древними из известных месторождений полезных ископаемых, залегающих в аргиллизированных породах, являются породы С – Р возраста. Месторождения полезных ископаемых Забайкалья с околорудной аргиллизацией: талатуйское, новоширокинское, жирекенское и др. – примеры проявлений аргиллизации, которые образовались в юрскую и меловую эпохи. Современное же рудообразование, сопровождающееся аргиллизацией пород, известно на полуострове Камчатка и Курильских островах [1].

По возрасту гидротермальные глинистые образования можно разделить на три группы: древние или до четвертичные, приуроченные к околорудным ореолам аргиллизации; молодые или четвертичные, приуроченные к районам четвертичного вулканизма и завершившим процесс аргиллизации; современные, приуроченные к районам современного вулканизма, с незавершенным процессом аргиллизации и часто характеризующиеся повышенной температурой.

Под современными гидротермальными глинистыми грунтами понимается первый от поверхности глинистый горизонт, формирующийся в результате гидротермальных преобразований поверхностных образований и развитый в пределах термальных полей – мест естественной разгрузки гидротермальных систем в районах современного вулканизма [3].

По данным авторских исследований проведен анализ состава, строения, состояния, свойств, а также микроморфологических (по результатам изучения микро- и наностроения образцов грунтов методом электронной микроскопии) особенностей контактов между структурными элементами глинистых образований гидротермального генезиса. Обобщение результатов анализа, позволило сделать следующие выводы.

1. Массивы гидротермальных глинистых грунтов имеют зональное строение. Каждая из зон характеризуется различным составом глинистых минералов и преобладающим типом контактов между структурными элементами.

2. Наблюдается закономерное изменение преобладающего типа контактов между структурными элементами современных гидротермальных глинистых грунтов сверху вниз: коагуляционный – переходный → коагуляционный → коагуляционный – переходный → переходный – фазовый.

3. Для современных гидротермальных глинистых грунтов характерно гетерогенное микростроение. В пределах одного образца встречаются области с различным минеральным составом и типом микростроения.

4. Преобладающий тип контактов некоторых горизонтов (или зон) современных гидротермальных глинистых грунтов не всегда является определяющим фактором для их прочности. Это связано с формированием в таких грунтах объемного структурного каркаса из минералов группы SiO_2 , характеризующийся более жестким кристаллизационно-цементационным типом контактов.

5. Дочетвертичные гидротермальные глинистые образования характеризуются более однородным микростроением, с преобладанием контактов коагуляционного и переходного типов.

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова, и проведены с применением оборудования, приобретенного в рамках реализации Программы развития Московского университета (рентгеновский дифрактометр Rigaku Ultima IV (Япония), растровый электронный микроскоп LEO 1450VP (Германия) и лазерный анализатор размера и заряда частиц Horiba SZ-100 (Япония)).

Литература

1. Волостных Г.Т. Аргиллизация и оруденение. Москва: Недра, 1972. 240 с.
2. Бортников Н.С. Гидротермальные процессы // Большая российская энциклопедия: научно-образовательный портал – URL: <https://bigenc.ru/c/gidrotermal-nye-protsessy-fbeae7/>. – Дата публикации: 30.11.2022.
3. Чернов М.С., Крупская В.В., Соколов В.Н. К вопросу о формировании свойств глинистых грунтов термальных полей: трансформация минерального состава и микростроения (на примере южной Камчатки) // Ломоносовские чтения 2021 года. Секция Геология. Подсекция Инженерной и экологической геологии. – URL: <https://lomonosov-msu.ru/rus/event/6740/>. – Дата обращения: 10.03.2025.