

## **ГЕОХИМИЧЕСКОЕ УКРЕПЛЕНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ГРУНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИММ-ТЕХНОЛОГИИ**

*In the article the issues of further development of the science of soil reclamation technology and its interaction with environmental geology in solving problems of construction on the territories, composed of weak technogenic soils. Considered IMM-technology as a positive example of the scientific and technical symbiosis of two fields of knowledge.*

Последние 50 лет существования человечества в эпоху техногенеза привело к тому, что под влиянием мощных антропогенных нагрузок на геологическую среду, строительная отрасль, являющаяся основным потребителем знаний технической мелиорации грунтов (ТМГ) как науки, занимающейся разработкой теорий и методов целенаправленного улучшения состава, физического состояния и физико-механических свойств грунтов с целью позитивного изменения качества определённых участков (объёмов) геологической среды [1], столкнулась с необходимостью возведения объектов промышленного и гражданского строительства на территориях сложенных слабыми, с точки зрения несущей способности, грунтами техногенного происхождения. В то же время становление и развитие таких наук как геоэкология [2], изучающая изменения жизнеобеспечивающих ресурсов геосферных оболочек под влиянием природных и антропогенных факторов и экологическая геология [3], в сферу исследований которой входит литосфера в зоне взаимодействия с техническими объектами, привело к предъявлению дополнительных требований в строительной отрасли, направленных на минимизацию негативного техногенного воздействия антропогенных объектов на компоненты окружающей среды. Ввиду этого, возведение зданий и сооружений на техногенных грунтах, в том числе дисперсных техногенных грунтах антропогенного образования (отходов производства и потребления), особенно в условиях мегаполисов, сопряжено не только с решением инженерных и геотехнических задач, но и с вопросами реализации права человека на экологическую безопасность. В этих условиях, техническая мелиорация грунтов, оперирующая физико-механическими параметрами естественных грунтов, измененных тем или иным методом, и экогеология, изучающая их санитарно-гигиенические характеристики, по сути, являются двумя разрозненными науками, исследующими один и тот же

процесс и, за частую, существенно ограничивающими друг друга в предлагаемых подходах и решениях. Одним из выходов в сложившейся ситуации может стать включение в сферу научных интересов ТМГ части вопросов экологической геологии, тем самым замкнув на себе перечень решаемых задач, предъявляемых со стороны строительной отрасли, в рамках возведения искусственных объектов различного назначения.

Примером подобного научно-технологического симбиоза может служить интеграционная минерально-матричная технология литификации дисперсных техногенных грунтов. Основой для развития ИММ-технологии послужила теория синтеза неорганических вяжущих веществ в дисперсных грунтах (ТСВВ) [4], в части особенности гидролиза глинистых минералов, образование предельно гидратированных первичных и вторичных соединений, закономерности их фазовых переходов и процесс формирования алюмосиликатов. ТСВВ является итогом многолетней научной работы доктора технических наук, профессора Ленинградского университета Кнатько В.М. и относится к геохимической группе укрепления грунтов методом синтеза неорганических вяжущих веществ на основе природных алюмосиликатов и является способом, позволяющим качественно изменить первоначальные свойства естественных грунтов различного состава и генезиса, преобразовав их в прочный и морозоустойчивый материал.

Интерпретация техногенного грунта, в том числе, антропогенного образования, как минерально-органической грунтовой смеси отличающейся химической несбалансированностью, химической активностью и неопределенностью зернового состава, позволила говорить о его подобии в первом приближении различным видам грунтов естественного сложения. Это в свою очередь дало основание проекции на техногенные грунты основных аспектов и методов развитой практики и теории преобразования минеральных сред, в том числе богатый инструментарий теории и практического опыта технической мелиорации грунтов. При этом, одним из важных критериев преобразования техногенных грунтов в укрепленные грунты является наличие геоэкозащитного аспекта, обуславливающего необходимость ограничения (минимизации) десорбции экотоксикантов из конечного продукта в окружающую среду.

В соответствии с ИММ-технологией, синтез вяжущих в дисперсных грунтах антропогенного генезиса происходит наиболее эффективно при использовании не одного, а совокупности рационально подобранных реагентов. Взаимодействие химических реагентов с дисперсными техногенными грунтами представляет собой сложный многостадийный процесс, каждая стадия которого характеризуется определенной последовательностью чередующихся химических реакций и соответствующими им изменениями в системах реагент-грунт. Поэтому в зависимости от природы химических реакций и характера их воздействия на грунт в целом и прежде всего на его жидкую и коллоидно-дисперсную фазу,

включающую различные минеральные и органические составляющие грунта, процессы взаимодействия химических реагентов с дисперсными техногенными грунтами подразделяются на пять условных стадий взаимодействия (УСВ):

I УСВ – растворение и диссоциация химических реагентов в грунтовом растворе;

II УСВ – преодоление факторов буферности грунта в связи с необходимостью изменения реакции среды грунта pH;

III УСВ – гидролиз и инконгруэнтное разрушение глинистых минералов и формирование многокомпонентной системы взаимодействующих с реагентами окислов, образование первичных метастабильных соединений;

IV УСВ – фазовые превращения первичных соединений во вторичные и т.д.;

V УСВ – формирование (синтез) полиминеральных новообразований, обладающих вяжущими свойствами (реализация третьего синергетического принципа самоорганизации системы химический реагент-грунт).

Подбор вносимых реагентов, в роли которых выступают минеральные грунты, неорганические вяжущие вещества и побудитель реакции щелочного гидролаза – щелочной алюмосиликатного сорбента, осуществляется исходя из оптимизации минерального, фракционного и гранулометрического состава используемого техногенного грунта, во-первых, с точки уменьшения способности получаемой смеси, по сравнению с начальным техногенным грунтом, противостоять изменению реакции среды (pH) или противостоять сдвигу pH в ту или иную сторону (фактор буферности), а, во-вторых, с целью достижения конечным материалом необходимых и достаточных условий минимизации его пористости. Последний фактор обусловлен необходимостью соответствия отдельных физико-механические свойства конечного материала минимально необходимым показателям, обеспечивающим эффективное противодействие как физических, так и климатических факторов окружающей среды, в первую очередь механическому воздействию, вызванному давлением, оказываемым вышележащими слоями конструкций, климатическому воздействию, в первую очередь морозной эрозии, обусловленной сезонными температурными колебаниями окружающей среды, и гидромеханическому воздействию, создаваемому присутствием в зоне размещения материала атмосферных осадков и грунтовых вод. Необходимой и достаточной величиной отдельных физико-механических параметров (в зависимости от области применения материала) будут являться: прочность на одноосное сжатие  $R_{сж}$  в пределах от 1 до 10 Мпа, показатель морозостойкости не ниже F5, коэффициент фильтрации  $K_f = 10^{-4} - 10^{-5}$  м/сут., пористость  $P = 3-5\%$ .

Учитывая, что показатель  $F$  и  $K_f$  находятся в прямой зависимости от пористости, которая в свою очередь, определяется гранулометрическим составом и степенью уплотнения, а  $R_{сж}$  зависит от наличия и характеристик прочности скелетного материала, наиболее оправданным критерием регулирования гранулометрического состава конечного материала, будет являться достижение необходимых и достаточных условий минимизации его пористости.

В качестве минеральных грунтов, могут быть использованы как как пески для строительных работ (ГОСТ 8736-93), легкие песчанистые или легкие пылеватые суглинки (ГОСТ 25100-95), торфа (ГОСТ Р 51661.4-2000) и д.р., так и техногенные продукты имеющие аналогичные характеристики. В качестве неорганических вяжущих веществ, например, портландцемента марки М400 или М600 (ГОСТ 23464-79, ГОСТ 4772-84, ГОСТ 22266-76, ГОСТ 25328-82). В качестве щелочного алюмосиликатного сорбента выступает модифицирующая комплексообразующая добавка (МКД), представляющая собой специально трансформированные природные минеральные системы на основе глин или глинистых пород. Алюмосиликаты этих пород, подвергшись интенсивному щелочному гидролизу в присутствии ионов щелочноземельных металлов, преобразуются в высокодисперсную минерально-матричную систему, характеризующуюся предельным неравновесным состоянием и повышенной сорбционной емкостью.

После внесения и равномерного распределения в используемом техногенном грунте всех подобранных химических реагентов и преодоления фактора буферности смеси, происходит резкое увеличение показателя  $pH$  до значений 9-11 единиц и, как следствие, гидролитическое разрушение глинистых минералов сначала в поверхностных зонах, а затем и более удаленных от границы раздела фаз зон минеральных агрегатов. Процесс частичного разрушения глинистых минералов приводит к разрушению связей в кристаллических решетках, обусловленному извлечением из них наиболее подвижных окислов одно- и двухвалентных металлов и полуторных окислов. В образовавшейся многокомпонентной системе развивается непрерывный процесс химического поглощения реагентов с образованием метастабильных предельно гидратированных первичных соединений и их последующий переход в более устойчивые вторичные соединения, тем самым создаются предпосылки к возникновению новых минеральных ассоциаций взамен разрушенной под влиянием внесенных реагентов части глинистых минералов [5].

Преобразованная таким образом минеральная система, согласно принципу Ле Шателье, стремится вернуться в равновесное состояние и, благодаря чему, происходит интенсивный процесс формирования новой минеральной ассоциации, обладающей в начальной стадии минералообразования явно выраженной вяжущей способностью. Химические реакции синтеза и физико-химического превращения представляют собой

процесс качественного перехода коллоидно-дисперсной жидкой фазы в агрегатно-монолитное состояние, характеризующееся оптимальным соотношением различных структурных составляющих (коагуляционной, кристаллизационной и конденсационной). При этом в состав синтезируемой структуры вовлекаются всевозможные (органические и неорганические) химически активные загрязнители, содержащиеся в техногенном грунте, а наиболее активные химические соединения (такие как комплексы тяжелых металлов) играют роль ее центров [6]. Этот процесс, по существу, имитирует или искусственно воспроизводит природные процессы литогенеза в дисперсных минеральных средах (например, в осадках в ходе их диагенетического преобразования и формирования различных осадочных пород).

Получаемый в процессе реализации ИММ-технологии материал – грунт укрепленный техногенный может обладать следующими физико-механическими характеристиками: плотность  $\rho = 2,0 - 2,1$  т/м<sup>3</sup>, прочность на осевое сжатие –  $R = 20...100$  кгс/см<sup>2</sup>, коэффициент фильтрации  $k_f$  не более  $10^{-4}$  м/сут., коэффициент водоустойчивости более 0.7, морозостойкость отнесена к классу F5 и пригоден для устройства оснований, нижних слоев покрытий автомобильных дорог и аэродромов, а также может использоваться как грунт обратной засыпки при планировочных работах, сооружении откосов и земляных валов, вне зон застройки территории зданиями с постоянной проживающим населением, дошкольных и образовательных учреждений. С учетом конкретных условий эксплуатации сооружений и на основании испытаний, материал может быть использован для устройства гидроизоляционных конструктивных слоев, а также механических геохимических барьеров, например, при рекультивации шламохранилищ, оборудовании и рекультивации полигонов для хранения отходов и т.п. [7]

Таким образом, ИММ-технология геохимического укрепления техногенных грунтов является положительным примером научно-технического симбиоза знаний наук технической мелиорации грунтов и экологической геологии, позволяющим успешно решать задачи, возникающие при строительстве зданий и сооружений на территориях сложенных слабыми техногенными грунтами, как с точки зрения улучшения физико-механических свойств и несущей способности последних, так и минимизации негативного антропогенного воздействия возводимых искусственных объектов на компоненты окружающей среды.

### **Литература:**

1. Воронкевич С. Д. Основы технической мелиорации грунтов. — М.: Научный мир, 2005. 498 с.;
2. Геоэкология // Экологическая энциклопедия: В 6 Т. / Гл. ред. В.И. Данилов-Данильян. — М.: ООО «Изд-во „Энциклопедия“», 2010. — Т. 2. Г-И. — С. 22.

3. Трофимов В.Т., Зилинг Д. Г. Экологическая геология / Учебник. — М., ЗАО Геоинформмарк, 2002. — с. 13-21
4. Укрепление дисперсных грунтов путем синтеза неорганических вяжущих [Текст] / В. М. Кнатько ; ЛГУ. — Ленинград : Издательство ЛГУ, 1989. — 271.
5. Кнатько В.М., Щербакова Е.В., Эйзлер П.П. Научные и учебно-методические основы изучения эффективности нанотехнологий на примерах решения практических задач техногенного грунтоведения и инженерной геологии // Матер. Всероссийского форума - Изобретатели и инновационная политика России — г. СПб, — 2011
6. Кнатько М.В., Жабриков С.Ю., Подлипский И.И. Утилизации отходов топливно-энергетического комплекса. // Экология и промышленность России. М.: Изд-во ЗАО «Калвис», №4, 2015, с. 20-23
7. Проектная документация. Рекультивация территории под "Инженерно-транспортное обеспечение квартала" СПб, Невский район, квартал 16 Севернее ул. Новоселов (Союзный пр. от ул. Бадаева до ул. Колонтай, Складская ул. от ул. Еремеева до Союзного по ул. Еремеева от Дальневосточного пр. до Складской ул. Альбом б. г. Санкт-Петербург, ООО «НТЦ «Технологии XXI века», 2011 г.