

## **ГЕОЭКОЛОГИЯ (ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ)**

---

---

### **ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ТИКСОТРОПИИ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД МЕТОДОМ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ**

*Шереметов Иван Михайлович*, кандидат технических наук, государственный строительный эксперт, Государственная экспертиза проектов, Российская Федерация, 414000, г. Астрахань, ул. Коммунистическая, 4, e-mail: shrmtv@mail.ru

*Серебряков Андрей Олегович*, старший преподаватель, магистр, Астраханский государственный университет, 414000, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: Geologi2007@yandex.ru

*Золотарёв Александр Михайлович*, заместитель директора, ООО «Реконструкция», Российская Федерация, 344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Станиславского, 50, e-mail: a.zolotarev@uretek.su

В процессе исследования установлены причинно-следственные связи между деформациями осадочных пород и динамическим воздействием, катализирующим переход «золь – гель» водонасыщенного массива пород. С целью повышения стабильности осадочных структур предложен метод полимеризации основания. Полимерный компаунд призван заместить гравитационную воду, ликвидировать выявленные зоны разуплотнения, армировать осадочный массив жёсткими телами затвердевшего высокомолекулярного полимера. Количество нагнетаемого раствора дифференцировано по глубине и оси расположения скважины для инъектирования. В результате решения геотехнической задачи сформированный геоплимерный массив распределён в осадочных породах равномерно, негативное проявление тиксотропных свойств устраняется.

**Ключевые слова:** геомониторинг, динамические нагрузки, тиксотропия, гель, золь, геоплимерный компаунд

### **ELIMINATION OF THIXOTROPY OF A SOIL BASED ON BY THE POLYMERIZATION METHOD**

*Sheremetov Ivan M.*, Ph. D. in Technology, State Building Expert, Autonomous establishment of the Astrakhan region “State examination of projects”, 4 Kommunisticheskaya St., Astrakhan, 414000, Russian Federation, e-mail: shrmtv@mail.ru

*Serebryakov Andrey O.*, Senior Teacher, Master, Astrakhan State University, 1 Shaumyana Sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation, e-mail: Geologi2007@yandex.ru

*Zolotarev Alexander M.*, Deputy Director, LLC Rekonstruktsiya, 50 Stanislavskogo St., Rostov-on-Don, 344002, Russian Federation, e-mail: a.zolotarev@uretek.su

In the course of the research relationships of cause and effect between deformations of sedimentary rocks and the dynamic influence catalyzing “sol-gel” transition of the water-saturated massif of breeds are established. For the purpose of increase in stability of sedimentary structures the method of polymerization of the basis is offered. The polymeric compound is designed to replace gravitational water, to liquidate the revealed razuplotneniye zones, to reinforce the sedimentary massif rigid bodies of the hardened high-molecular polymer. The amount of the forced solution is differentiated on depth and an axis of location of the well for an injetsirovaniye. As a result of the solution of a

geotechnical task the created geopolymeric massif is distributed in sedimentary rocks evenly, negative manifestation of thixotropic properties is eliminated.

**Keywords:** geomonitoring, dynamic loads, thixotropy, gel, sol, geopolymer compound

Взаимодействие элементов системы «промобъект – порода – основание» при динамических нагрузках имеет ярко выраженную специфику. В определённых условиях породы, представляющие собой коагуляционную структуры, способны к обратимому разрушению и восстановлению [12; 15]. Именно такое воздействие могут оказывать турбоагрегаты посредством фундаментов на подстилающие грунты.

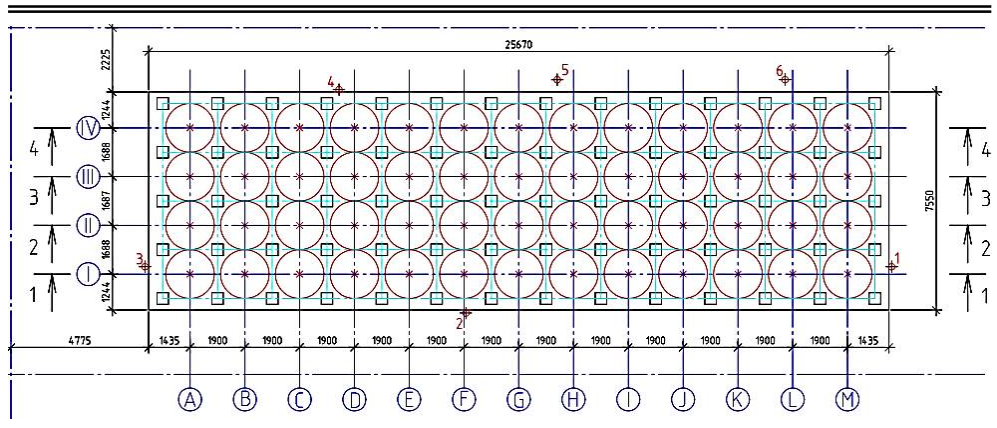
По результатам ранее проведённого геомониторинга установлено, что осадочные породы за тридцать три года эксплуатации сооружения просели на 20 мм. В последний период наблюдений вертикальные деформации пород ежегодно нарастают до 4 мм. В процессе исследования установлено, что продолжающиеся деформации пород напрямую связаны с механическими воздействиями, катализирующими переход «золь – гель» водонасыщенного массива [16]. Проявления тиксотропии пород, являющихся сложными минерально-дисперсными образованиями, обусловили необходимость принятия геоэкологических мер согласно положениям нормативных документов [7].

Учитывая водонасыщенность пород, отмечается, что верхние части пород при техногенном воздействии практически не имеют сопротивления боковому смещению. Под воздействием центробежных сил слабые обводнённые породы могут испытывать продольный изгиб и деформироваться в знакопеременных направлениях, что подтверждается зафиксированным вертикальным смещением пород до 0,8 мм. Причиной возникновения продольных и поперечных, вертикальных и горизонтальных смещений является существенное снижение сопротивления пород. Это сопряжено с проявлением геоэкологической тиксотропии пород, представляющей собой слоистую коагуляционную структуру [2; 8]. Таким образом, прочностные и деформационные характеристики подстилающих грунтов изменяются в худшую для системы «промобъект – фундамент – основание» сторону, что обуславливает несоответствие фактического состояния системы прогнозируемому (проектному).

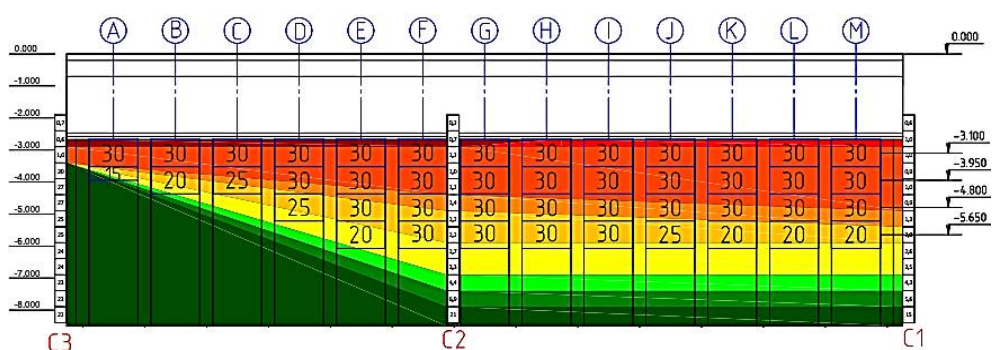
С целью повышения стабильности осадочных структур предложено использовать метод полимеризации [4]. Растворы высокомолекулярного полимера призваны заместить гравитационную воду в межпоровом пространстве, а под действием экспансивных сил ликвидируются выявленные зоны разуплотнения пород. На заключительном этапе реализуется армирование осадочного массива жёсткими телами затвердевшего геополимера. Основным геоэкологическим процессом укрепления пород является конденсация полимеров при их взаимодействии с коагулянтами [5].

При выборе полимеров для укрепления пород следует учитывать целый ряд факторов, определяющих эффективность их применения [1]. Оптимальным решением для обводнённых и пластичных пород признано нагнетание геополимерного компаунда «URETEK» [3].

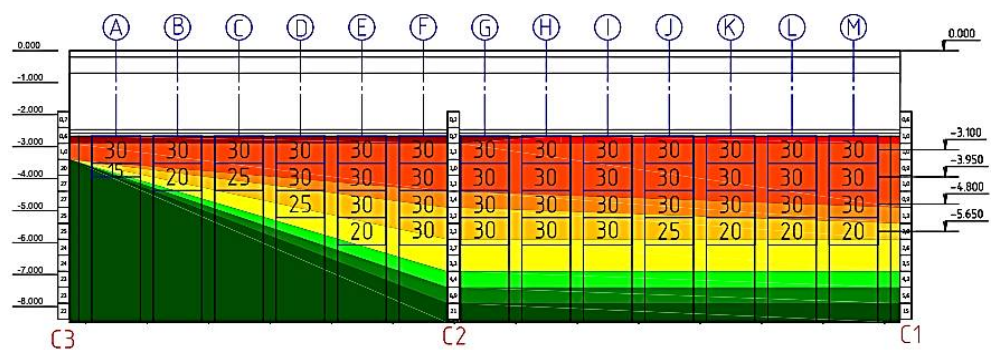
Для решения о зонах и объёмах закрепления параметры напластований пород определены динамическим зондированием в соответствии [6; 11]. Исходя из техногенного воздействия, определяются геоэкологические способности пород и модуль геоэкологической деформации.



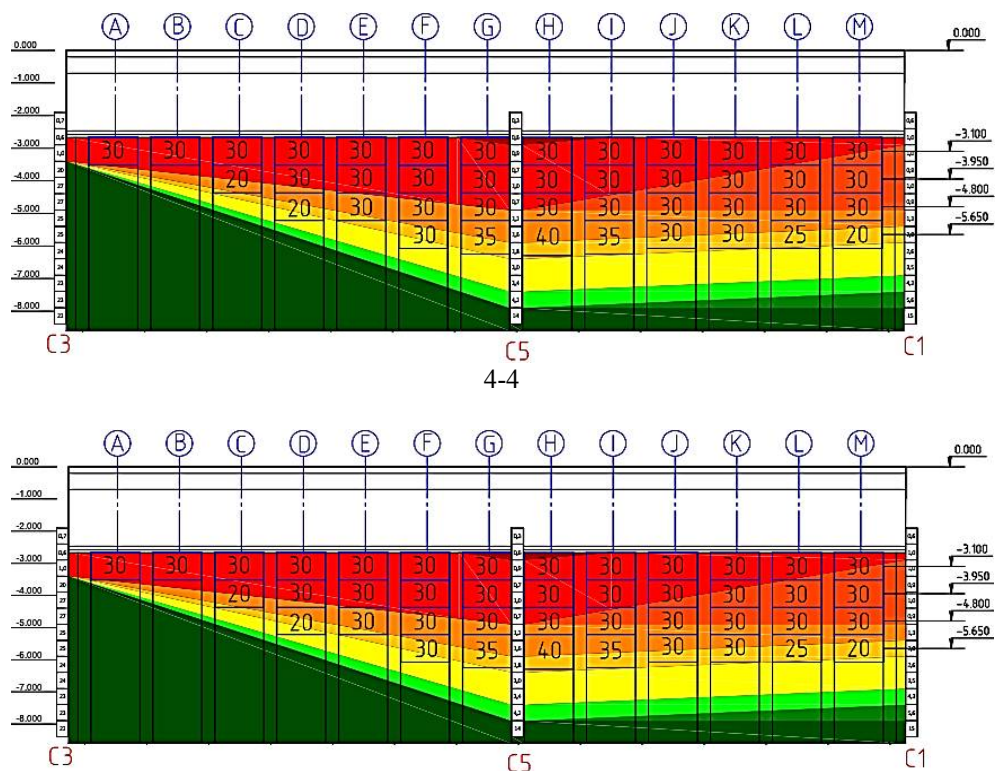
1-1



2-2



3-3



Условные обозначения:

- СЗ ⊕ - скважина динамического зондирования
- ⊙ - колонна инъецирования
- 15 - Количество кг на инъецию в уровень
- 3.400 - Отметка уровня инъецирования

Рис. 1. Схема расположения скважин для инъецирования полимера

Уплотнение пород реализуется за счёт 10–15-кратного расширения полимера. Для обеспечения равномерного армирования слоёв пород жёсткими полимерными элементами, нагнетание распределяется согласно схеме, представленной на рисунке 1. На плане показано расположение скважин для инъецирования. Скважины размещены в четыре ряда (I–IV). В результате нагнетания полимерного состава в горных породах формируется колонна инъецирования. Количество состава дифференцировано по глубинам и оси расположения скважины, что показано на соответствующих геологических разрезах.

Объём компаунда определён для каждого структурного элемента из расчёта компенсации жёсткости пород и необходимости создания экспансивной силы для вытеснения гравитационной воды из данного элемента [10]. Например, расчётный объём компаунда в 50-ти геозкологических скважинах составил 5030 кг. С учётом расширения это обеспечивает формирование 50–75 м<sup>3</sup> полимерного композита на 600 м<sup>3</sup> осадочных пород.

Для реализации геозкологических преимуществ принятого метода в полном объёме важным фактором является соблюдение последовательности инъецирования. Нагнетание раствора производится послойно в несколько уровней на глубины, определенные по данным динамического зондирования

пород. На рисунке 2 представлены установленные глубины для одной из скважин, в которой закрепляемый массив пород разделён на четыре элемента, для каждого из которых определено своё количество раствора, а также установлены отметки по глубине, на которых посредством иньектора осуществляется нагнетание полимера.

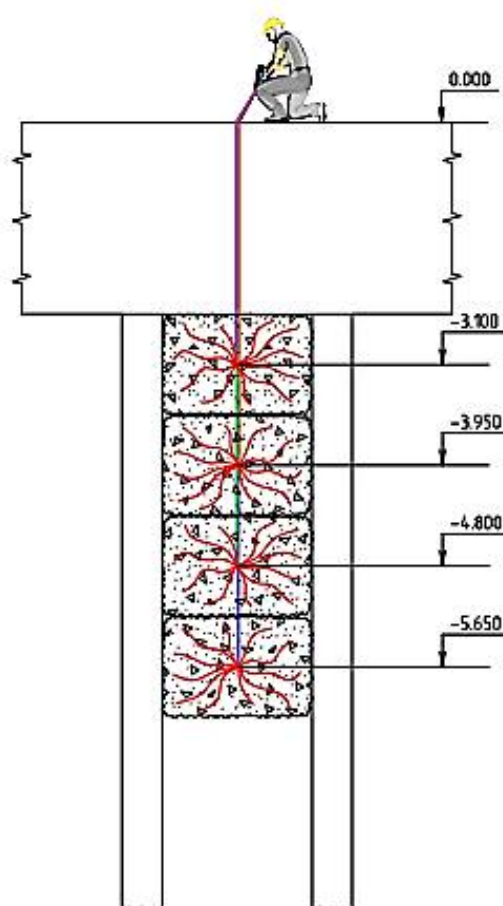


Рис. 2. Иньектирование геозкологических скважин для растворов

Данное техническое решение по укреплению грунтов основания фундаментов повышает общее сопротивление свайного поля воздействию динамических нагрузок. Кроме того, достигается существенное снижение амплитуды колебаний свай в направлении векторов центробежных сил от работы турбоагрегата. За счёт армирования грунтового массива жёсткими телами затвердевшего геополимера и уплотнения самих грунтов под действием экспансивных сил в целом происходит улучшение их физико-механических характеристик грунтов основания [9; 13]. Модуль упругости затвердевшего композита составляет порядка 20–30 МПа.

Применяемая технология обеспечила целенаправленное, долговечное улучшение строительных свойств грунтов в соответствии с указаниями [14]. Практическая реализация принятых решений также продемонстрировала возможность решения сложной геотехнической задачи в компактный временной промежуток. На рисунке 3 представлен график полного цикла работ по устройству геополимерных колонн в основании фундамента.



7. Методические указания по обследованию динамического состояния строительных конструкций сооружений и фундаментов оборудования энергопредприятий. РД 34.21.306-96. – Москва : СПО ОРГРЭС, 1998. – 47 с.
8. Осипов, В. И. Микроструктура глинистых пород / В. И. Осипов, В. Н. Соколов, Н. А. Румянцева. – Москва : Недра, 1989. – 211 с.
9. Ржаницын, Б. А. Химическое закрепление грунтов в строительстве / Б. А. Ржаницын. – Москва : Стройиздат, 1986. – 264 с.
10. Регламент Uretek. – Режим доступа: <https://www.uretek.su>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
11. Руководство по электроконтактному динамическому зондированию грунтов. – Москва : ЦНИИС Минтрансстроя, 1983. – 62 с.
12. Середин, В. В. Изучение закономерностей коагуляции глинистых частиц / В. В. Середин, В. И. Каченов, О. С. Ситева, Д. Н. Паглазова // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 10–14. – С. 3189–3193.
13. Соколович, В. Е. Химическое закрепление грунтов / В. Е. Соколович. – Москва : Стройиздат, 1980. – 119 с.
14. Укрепление грунтов инъекционными методами в строительстве. СТО НОСТРОЙ 2.3.18-2011. – Москва : Баст, 2012. – 63 с.
15. Физико-химическая механика природных дисперсных систем / под ред. Е. Д. Щукина, Н. В. Перцова, В. И. Осипова, Р. И. Злочевской. – Москва : Московский гос. ун-т, 1985. – 266 с.
16. Шереметов, И. М. Проявление тиксотропных свойств осадочных пород при низкочастотной вибрации / И. М. Шереметов, А. О. Серебряков, А. Х. Айтуриев // *Геология, география и глобальная энергия*. – 2019. – № 1 (72). – С. 23–32.

#### References

1. Bezruk V. M., Guryachkov I. L., Lukanina T. M., Agapova R. A. *Ukreplennye grunty* [Reinforced soil]. Moscow, Transport Publ., 1982, 231 p.
2. Voznesensky E. A., Kovalenko V. G., Kushnareva E. S., Funikova V. V. *Razzhizhenie gruntov pri tsiklicheskih nagruzkakh* [Dilution of soil at cyclic loads]. Moscow, Lomonosov Moscow State University Publ., 2005, 134 p.
3. *Geopolimernye tekhnologii Uretek* [Geopolymer technology Uretek]. Available at: <http://www.uretek-pro.ru>
4. Igosheva L. A., Grishina A. S. *Obzor osnovnykh metodov ukrepleniya gruntov osnovaniya* [Overview of the basic methods of soil foundation strengthening]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitelstvo i arkhitektura* [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Construction and architecture], 2016, vol. 7, no. 2, pp. 5–21.
5. Kalinina L. S., Motorina M. A., Nikitin N. I. *Analiz kondensatsionnykh polimerov* [Analysis of condensation polymers]. Moscow, Khimiya Publ., 1984, 115 p.
6. Prigoda V. Ya. *Metodicheskie rekomendatsii po proizvodstvu elektrodinamicheskogo zondirovaniya pri inzhenerno-geologicheskikh izyskaniyakh* [Guidelines for the production of electrodynamic sensing in engineering-geological surveys]. Moscow, VNIITS Publ., 1980, 40 p.
7. *Metodicheskie ukazaniya po obsledovaniyu dinamicheskogo sostoyaniya stroitelnykh konstruksiy sooruzheniy i fundamentov oborudovaniya energopredpriyatiy. RD 34.21.306-96* [Guidelines for the inspection of the dynamic state of building structures of buildings and foundations of equipment of power enterprises. RD 34.21.306-96]. Moscow, SPO ORGRES Publ., 1998, 47 p.
8. Osipov V. I., Sokolov V. N., Rummyantseva N. A. *Mikrostruktura glinistykh porod* [The microstructure of clay rocks]. Moscow, Nedra Publ., 1989, 211 p.
9. Rzhantsyn B. A. *Khimicheskoe zakreplenie gruntov v stroitelstve* [Chemical fixing of soil in construction]. Moscow, Sroyizdat Publ., 1986, 264 p.
10. *Reglament Uretek* [Regulations Uretek]. Available at: <https://www.uretek.su>

11. *Rukovodstvo po elektrokontaktному динамическому зондированию грунтов* [Guide to electrocontact dynamic sounding of soils]. Moscow, ZNIIS Ministry of Transport Publ., 1983, 62 p.
12. Seredin V. V., Kachenov V. I., Siteva O. S., Paglazova D. N. Izuchenie zakonomernostey koagulyatsii glinistykh chastits [Study of the coagulation patterns of clay particles]. *Fundamentalnye issledovaniya* [Fundamental research], 2013, no. 10–14, pp. 3189–3193.
13. Sokolovich V. E. *Khimicheskoe zakreplenie gruntov* [Chemical fixing of soil]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1980, 119 p.
14. *Ukreplenie gruntov inektsionnymi metodami v stroitelstve. STO NOSTROY 2.3.18-2011* [Strengthening of soil by injection methods in construction. STO NOSTROY 2.3.18-2011]. Moscow, Bast Publ., 2012, 63 p.
15. *Fiziko-khimicheskaya mekhanika prirodnykh dispersnykh sistem* [Physico-chemical mechanics of natural disperse systems]. Ed. by E. D. Shchukina, N. V. Pertsova, V. I. Osipova, R. I. Zlochevskaya. Moscow, Lomonosov Moscow State University Publ., 1985, 266 p.
16. Sheremetov I. M., Serebryakov A. O., Aituriyev A. Kh. Proyavlenie tiksotropnykh svoystv osadochnykh porod pri nizkochastotnoy vibratsii [The manifestation of the thixotropic properties of sedimentary rocks with low-frequency vibration]. *Geologiya, geografiya i globalnaya energiya* [Geology, Geography and Global Energy], 2019, no. 1, pp. 23–32.

## **РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ**

*Лю Чэн*, магистрант, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Рцсскийская Федерация, 119991, г. Москва, Ленинские горы, 1, e-mail: 759065476@qq.com

*Моторова Ксения Александровна*, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Рцсскийская Федерация, 119991, г. Москва, Ленинские горы, 1, e-mail: motorova.ks@yandex.ru

В случае разлива сырой нефти и нефтепродуктов в море наличие нефтяных слоёв на поверхности моря не только препятствует нормальному поверхностному обмену морской воды и атмосферы, но также негативно влияет на морскую экологическую среду. Цель работы – разработать специальное устройство для очистки воды от разлива нефтепродуктов на поверхности моря с использованием магнитной жидкости. Рассмотрены примеры аварийных разливов нефтепродуктов и их последствия, проанализированы характеристики традиционных методов по борьбе с разливами. На основе существующих сегодня разработок и очистных устройств с использованием магнитной жидкости представлено новое устройство для отчистки загрязнённой нефтепродуктами морской воды. Предложенное устройство закладывает основу для решения проблем загрязнения моря, вызванных авариями с разливом нефтепродуктов. Ожидается, что исследование и разработка устройства очистки воды от нефтепродуктов, основанного на технологии использования магнитной жидкости, позволят эффективнее защищать морскую экологическую среду.

**Ключевые слова:** загрязнение вод нефтью и нефтепродуктами, методы очистки, механический метод, физико-химический метод, магнитная жидкость, устройство для очистки загрязнённой нефтепродуктами морской воды