

# Проектирование, сооружение и эксплуатация систем трубопроводного транспорта

## Designing, construction and operation of pipeline transport system

25.00.19 Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов,  
баз и хранилищ (технические науки)

DOI: 10.31660/0445-0108-2019-6-86-95

УДК 624.131.4

### Кинетика фильтрационной консолидации водонасыщенных глинистых грунтов

О. В. Агейкина<sup>1\*</sup>, В. В. Воронцов<sup>2</sup>, Р. Р. Суфьянов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия

<sup>2</sup>Департамент образования Администрации города Тюмени, Тюмень, Россия

\*e-mail: [berlinao@yandex.ru](mailto:berlinao@yandex.ru)

*Аннотация.* Актуальность исследования процессов фильтрационной консолидации обусловлена местом водонасыщенных грунтов в различных конструктивных решениях, связанных с разведкой, добычей и транспортировкой углеводородного сырья. При этом необходимо отметить, что многообразие грунтов обусловило появление широкого спектра математических моделей, полученных на основе обобщения экспериментальных данных и различного рода допущений для упрощения инженерных расчетов.

В работе изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований математической модели консолидационного процесса водонасыщенной пористой среды. Модель базируется на упрощающих предположениях, отличных от принятых в известных решениях. Принципиальный подход к формированию модели был выработан на основе кинетических представлений химических реакций, использованных в решении экологических проблем реакций эпексидирования олефинов. Определены параметры математической модели консолидационного процесса водонасыщенной пористой среды глинистого грунта и подтверждена ее адекватность результатами исследований. Установлены параметры области неравновесной фильтрации, снижающей несущую способность водонасыщенных грунтов.

*Ключевые слова:* нефтяные и газовые месторождения; криолитозона; водонасыщенные глинистые грунты; фильтрационная консолидация; кинетика; математическая модель

### Kinetics of filtration consolidation of water-saturated clay soils

Oksana V. Ageikina<sup>1\*</sup>, Vyacheslav V. Vorontsov<sup>2</sup>, Rudolf R. Sufyanov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

<sup>2</sup>Department of Education of Administration of the City of Tyumen, Tyumen, Russia

\*e-mail: [berlinao@yandex.ru](mailto:berlinao@yandex.ru)

*Abstract.* The relevance of the research processes filtration consolidation due to the place of water-saturated soils in various design solutions related to the exploration, production and transportation of hydrocarbons. It should be noted that the diversity of soils led to the emergence of a wide range of mathematical models, obtained on the basis of generalization of experimental data and various assumptions to simplify engineering calculations.

The article presents the results of theoretical and experimental studies of the mathematical model of the consolidation process of a water-saturated porous medium. This model is based on simplifying assumptions that are different from those adopted in well-known solutions. A fundamental approach to the formation of the model was developed on the basis of the kinetic representations of chemical reactions used in solving the environmental problems of epoxidation reactions of olefins. We determined the parameters of the mathematical model of the consolidation process of the saturated porous medium of clayey soil and confirmed its adequacy by the research results. In addition, we established the parameters of the field of non-equilibrium filtration, reducing the nonexistent ability of water-saturated soils.

*Key words:* oil and gas fields; permafrost; water-saturated clay soils; filtration consolidation; kinetics; mathematical model

### **Введение**

Современное развитие нефтегазодобывающего комплекса Западной Сибири зачастую сопряжено с интенсивным использованием территорий в сложнейших инженерно-геологических условиях криолитозоны. В этом случае проблемы связаны с формированием деятельного слоя и деградацией вечной мерзлоты в основании зданий и сооружений, что предопределяет дополнительные и зачастую опасные деформации элементов конструкций. Поэтому специалистам приходится принимать проектные решения для обеспечения надежности объектов обустройства месторождений на многолетнемерзлых грунтах. В этом контексте очевидна необходимость оценки величины осадки при оттаивании мерзлого грунта, в том числе и вследствие фильтрационной консолидации [1, 2].

С другой стороны, обустройство нефтяных и газовых месторождений в регионе предусматривает строительство объектов на слабых водонасыщенных пылевато-глинистых грунтах, широко представленных в регионе суглинками и глинами различной консистенции, а также торфяных грунтах. Учитывая проблемы охраны окружающей среды, особое значение приобретают исследования процессов уплотнения грунтовых оснований поверхностных накопителей отходов бурения и других промышленных стоков. Очевидно, что для прогноза процесса развития осадок сооружений и в этих условиях применимы основные соотношения теории фильтрационной консолидации [3–7].

Таким образом, актуальность исследования процессов фильтрационной консолидации обусловлена местом водонасыщенных грунтов в различных конструктивных решениях, связанных с разведкой, добычей и транспортировкой углеводородного сырья. При этом необходимо отметить, что многообразие грунтов обусловило появление широкого спектра математических моделей, полученных на основе обобщения экспериментальных данных и различного рода допущений для упрощения инженерных расчетов [8–11].

Учитывая актуальность и практическую значимость процесса фильтрационной консолидации, в НИПИ «Нефтегазпроект» выполняется значительный объем исследований в этом направлении, в том числе с использованием результатов проектно-изыскательских работ. В представленной статье изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований математической модели консолидационного процесса водонасыщенной пористой среды.

Модель базируется на упрощающих предположениях, отличных от принятых в известных решениях.

Принципиальный подход к формированию модели был выработан на основе кинетических представлений химических реакций, использованных одним из авторов статьи в решении экологических проблем реакций эпоксидирования олефинов [12–15]. Представляется, что в этом случае будет повышена степень адекватности моделирования особенностям фильтрационной консолидации водонасыщенных грунтов.

#### Объект и методы исследования

В качестве объекта исследования были приняты водонасыщенные глинистые грунты, физико-механические характеристики которых были определены по результатам поисковых работ НИПИ «Нефтегазпроект» грунтовых карьеров на Западно-Чатылькинском лицензионном участке.

Испытуемый грунт относится к водонасыщенным текучим пылеватым (песчанистым) суглинкам.

Введем следующие обозначения, необходимые для описания предмета нашего исследования:  $N(t)$  — избыточное поровое давление;  $a$  — напряжения, необходимые для преодоления начального градиента фильтрации;  $C(t)$  — пористость грунта;  $k$  — коэффициент пропорциональности.

Тогда система уравнений, описывающая фильтрационную консолидацию такого грунта, может быть представлена следующим образом [16–21]:

$$\begin{cases} C'(t) = -\bar{k}_1(a - N(t)) \cdot C(t) \\ N'(t) = \bar{k}_1(a - N(t)) \cdot C(t) - k_2 N(t) \end{cases}$$

$$\text{где } k_1 = -\frac{0,5kk_w}{\bar{n}}, \quad k_2 = \frac{k_0k_f}{\gamma_w L(y, z)},$$

с соответствующими начальными условиями:  $C(0, y, z) = C_0$ ;  $N(0, y, z) = N_0$   
 $k_w$  — модуль объемного сжатия поровой воды;  $k_f$  — коэффициент фильтрации;  
 $\gamma_w$  — удельный вес воды;  $L(y, z)$  — длина пути фильтрации воды.

Выполним усреднение по времени следующих величин:

$$\begin{cases} k_1 = \bar{k}_1 \bar{C}(t) \\ \bar{N} = \bar{N}(t) \end{cases},$$

$$\begin{cases} \frac{dC(t)}{dt} = -k_1(a - N(t)) \\ \frac{dN(t)}{dt} = k_1(a - \bar{N})C(t) - k_2 N(t). \end{cases}$$

Если для новых постоянных ввести следующие обозначения:

$$\begin{cases} \alpha = -\bar{k}_1 \bar{C} a \\ \beta = \bar{k}_1 \bar{C} \\ \gamma = \bar{k}_1(a - \bar{N}) \end{cases},$$

то

$$\begin{cases} \frac{dC(t)}{dt} = \alpha + \beta N(t) \\ \frac{dN(t)}{dt} = \gamma C(t) - k_2 N(t). \end{cases}$$

После некоторых простых преобразований систему дифференциальных уравнений можно представить в виде одного дифференциального уравнения второго порядка, решение которого в самом общем виде позволяет провести анализ полученных зависимостей. Действительно

$$\begin{cases} C'' = \beta N' \\ N' = \gamma C - k_2 N \end{cases}$$

Исключим из полученной системы  $N(t)$ :

$$\begin{cases} C'' = \beta(\gamma C - k_2 N) \\ C' = \alpha + \beta N \Rightarrow N = \frac{C' - \alpha}{\beta}, \end{cases}$$

$$\begin{cases} C'' = \beta(\gamma C - k_2 \frac{C' - \alpha}{\beta}) \Rightarrow C'' = \beta\gamma C - k_2 C' + k_2 \alpha \Rightarrow C'' + k_2 C' - \beta\gamma C = k_2 \alpha \\ N = \frac{C' - \alpha}{\beta} \end{cases}$$

Следующим шагом необходимо получить решение неоднородного дифференциального уравнения с постоянными коэффициентами

$$C'' + k_2 C' - \beta\gamma C = k_2 \alpha.$$

Для определения однородной части решения составим характеристическое уравнение:  $\lambda^2 + k_2 \lambda - \beta\gamma = 0$ .

При этом корни характеристического уравнения

$$\lambda_{1,2} = \frac{-k_2 \pm \sqrt{k_2^2 + 4\beta\gamma}}{2}.$$

В зависимости от знака выражения  $\Delta = k_2^2 + 4\beta\gamma$  возможны три случая:

$$\begin{cases} \Delta > 0 ; \lambda_1 \neq \lambda_2 - \text{действительные}; C_{\text{одн}} = Be^{\lambda_1 t} + Ce^{\lambda_2 t} \\ \Delta = 0 ; \lambda_1 = \lambda_2 - \text{действительные}; C_{\text{одн}} = (B + Ct)e^{\lambda_1 t} \\ \Delta < 0 ; \lambda_{1,2} = m \pm in - \text{комплексные}; C_{\text{одн}} = e^{mt} (B \cos(nt) + C \sin(nt)) \end{cases}$$

Неоднородная часть решения  $C_{неодн} = -\frac{k_2\alpha}{\beta\gamma}$ . Таким образом, общий вид решения можно представить в следующем виде:

$$\begin{cases} \Delta > 0; C(t) = A + Be^{\lambda_1 t} + Ce^{\lambda_2 t} \\ \Delta = 0; C(t) = A + (B + Ct)e^{\lambda_1 t} \\ \Delta < 0; C(t) = A + e^{mt}(B \cos(nt) + C \sin(nt)). \end{cases}$$

Для постоянной  $A$  принято следующее обозначение:  $A = -\frac{k_2\alpha}{\beta\gamma}$ .

Одно из важнейших свойств рассматриваемой модели, имеющее существенное практическое значение, заключается в зависимости величины и характера избыточного порового давления от знака дискриминанта характеристического уравнения [20, 21]

$$D = \left( \frac{k_f}{\bar{n}} \cdot \frac{k_w}{\gamma_w L(y, z)} \right)^2 - k_w \cdot k^2 \cdot (\sigma_{i0}(y, z) - \bar{u}_w).$$

Это обстоятельство и было взято за основу наших исследований.

**Экспериментальная часть** и собственно постановка эксперимента подробно представлены в предыдущих публикациях [20–22] и поэтому, как нам представляется, не требуют дополнительных пояснений. В данной статье необходимо отметить то, что при подготовке представляемых материалов были использованы результаты исследований, проведенные на кафедре строительной механики Тюменского государственного архитектурно-строительного университета в 2004–2006 гг. и в отделе криогенных ресурсов НИПИ «Нефтегазпроект» при выполнении инженерных изысканий грунтовых карьеров на Западно-Чатылькинском лицензионном участке в 2018–2019 гг.

### Результаты

В результате статистической обработки экспериментальных исследований было получено уравнение множественной регрессии, отражающее влияние распределенной нагрузки и приведенной длины пути фильтрации на значение дискриминанта

$$D = 1,2734 - 0,00862 \cdot P - 0,6106 \cdot L/B,$$

где  $P$  — равномерная распределенная нагрузка, приложенная к жесткому штампу;  $L$  — длина пути фильтрации;  $B$  — ширина жесткого штампа.

В результате расчетов коэффициентов детерминации и критерия Фишера установлено, что параметры и сама модель статистически значимы. При этом в исследованной области 73,66 % общей вариальности дискриминанта объясняются изменением нагрузки и приведенной длины пути фильтрации.

На следующем этапе обработки результатов эксперимента были определены параметры математической модели. При этом методика расчета параметров модели и интерпретация результатов расчета имеют вполне самостоятельное значение и занимают значительный объем, поэтому далее ограничимся только

графической иллюстрацией адекватности моделирования особенностям фильтрационной консолидации водонасыщенных глинистых грунтов.

### Обсуждение

Представленная графическая интерпретация полученных результатов (рис. 1–3) наглядно подтверждает соответствие полученных результатов гипотезе исследования, заявленной в начале статьи. Статистическая значимость уравнения проверена с помощью коэффициента детерминации и критерия Фишера,  $F_{кр} = 3,37 < F = 30,81$ . Установлено также, что параметры модели статистически значимы. Кроме того, расчет коэффициента ранговой корреляции Спирмена наряду с тестом Голдфелда — Квандта позволил подтвердить гипотезу об отсутствии гетероскедастичности, расчет критерия Дарбина — Уотсона подтвердил отсутствие автокорреляции, а расчетное значение RS-критерия  $2,7 < RS = 3,656 < 3,7$  показало адекватность модели по нормальности распределения остаточной компоненты.

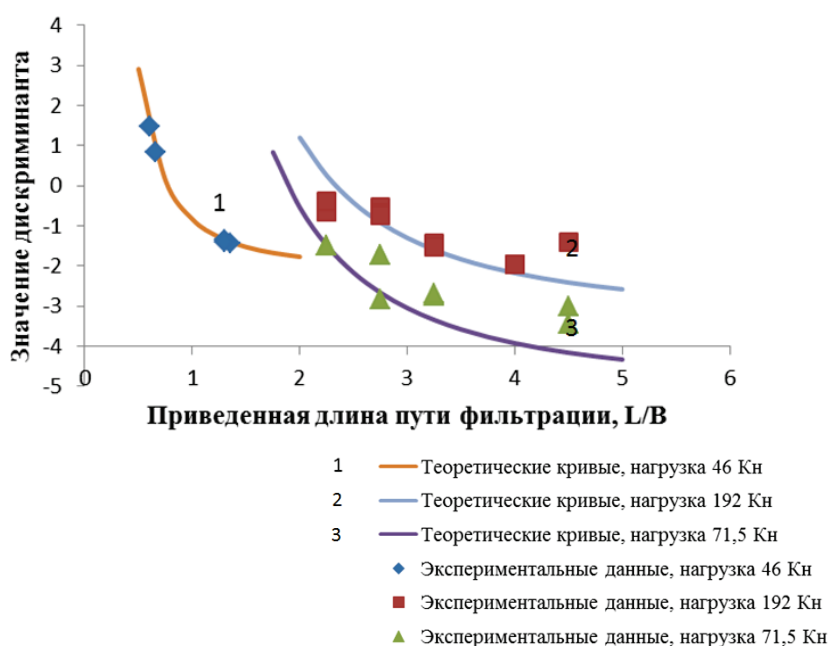


Рис. 1. Теоретические и экспериментальные значения дискриминанта в модели фильтрационной консолидации

Однако практическое применение предлагаемой модели в нашем случае носит более узкую направленность, связанную с вопросами проектирования оснований и фундаментов, и заключается в следующем.

В ряде публикаций [20, 21] предложена классификация напряженно-деформированного состояния водонасыщенного глинистого грунта и выделено три расчетных состояния. В первом случае избыточное поровое давление рассеивается преимущественно в результате фильтрации. Во втором случае рассеивание избыточного порового давления протекает при разуплотнении грунта (увеличения пористости) с возможным развитием деформаций сдвига. В третьем случае изменение избыточного порового давления обусловлено сочетанием процессов фильтрации и разуплотнения грунта.

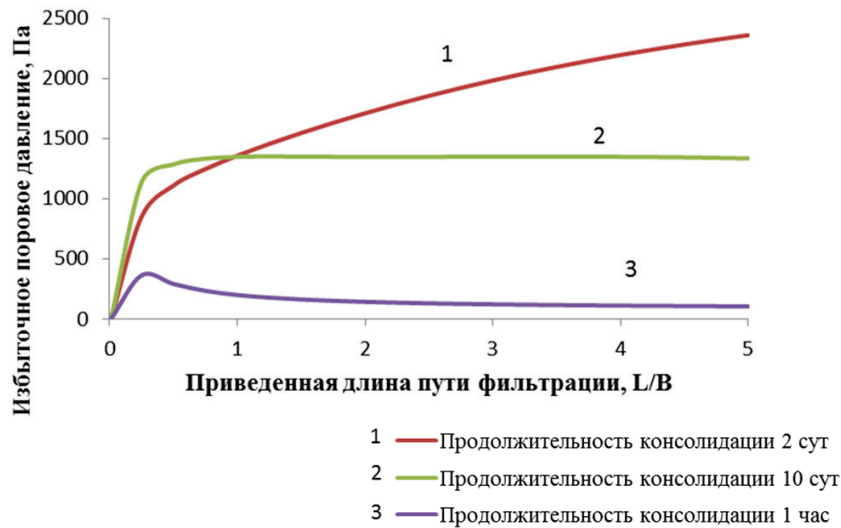


Рис. 2. Графики развития порового давления по глубине грунтового массива

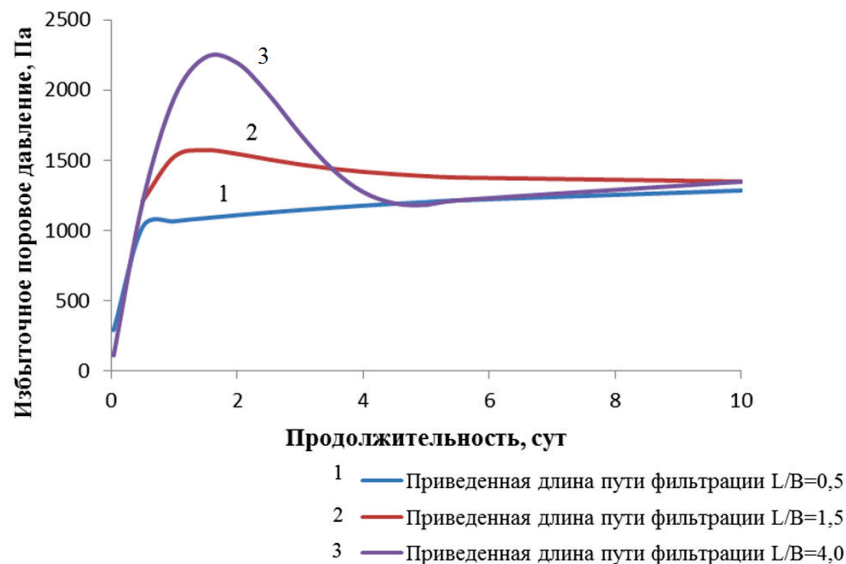


Рис. 3. Графики развития избыточного порового давления для расчетных случаев

Однако подобный вывод удовлетворительно объясняет изменение избыточного порового давления в экспериментах в области размещения датчиков, регистрирующих этот параметр, но не имеет отношения к математической модели, исходное положение которой предполагает и описывает деформацию пористой среды в результате консолидации при фильтрации воды.

В рассматриваемом случае отрицательного дискриминанта скачок избыточного порового давления обусловлен дисбалансом в системе приток — отток вследствие фильтрации и опасен тем, что в этот период неравновесной фильтрации снижается сопротивление сдвигу грунтового массива в этой области.

Именно этот аспект представляется важным, практически значимым для проектирования надежного основания или фундамента в водонасыщенных грунтах. Наряду с этим оценка несущей способности водонасыщенных грунтов в условиях скачка избыточного давления, разработка инженерных решений повышения несущей способности водонасыщенных грунтов в этих условиях являются перспективным и необходимым направлением последующих исследований.

### **Выводы**

В результате теоретических и экспериментальных исследований определены параметры математической модели консолидационного процесса водонасыщенной пористой среды глинистого грунта и подтверждена ее адекватность результатами исследований. Определены параметры области неравновесной фильтрации, снижающей несущую способность водонасыщенных грунтов. Сформулированы задачи для последующих исследовательских работ.

### **Библиографический список**

1. Агейкина О. В., Агейкин В. Н. Определение параметров транспортных потоков на промышленных дорогах Западной Сибири для экологических расчетов // Проблемы управления речными бассейнами при освоении Сибири и Арктики в контексте глобального изменения климата планеты в XXI веке: сб. докл. XIX Междунар. науч.-практ. конф. (17 марта 2017 г.). Том III. – Тюмень: ТИУ, 2017. – С. 13–17.
2. Протодяконова Н. А. Математическое моделирование деформаций грунта при оттаивании с учетом фильтрационной консолидации: Автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. – Тюмень, 2007. – 23 с.
3. Bavbel E. I., Naumenko A. I., Zhilinsky M. V. Development of the composition of low-cement composite binder to strengthen the local road soils // Sciences of Europe. – 2018. – № 31–1 (31). – P. 43–46.
4. Laboratory studies to strengthen the local soils of forest roads / E. I. Bavbel [et al.] // Sciences of Europe. – 2018. – № 31–1 (31). – P. 38–43.
5. Дашко Р. Э. Исследования и анализ процесса консолидации водонасыщенных глинистых грунтов // Грунтоведение. – 2014. – Т. 1. – № 4. – С. 30–53.
6. Агейкина О. В., Агейкин В. Н. Химическая безопасность при использовании карбамидоформальдегидных смол в дорожном строительстве // Актуальные научные и научно-технические проблемы обеспечения химической безопасности: материалы докл. на IV междунар. конф. (Москва, 17–18 окт. 2018 г.). – М., 2018. – С. 149.
7. Агейкина О. В., Агейкин В. Н. Экологический аспект применения композиционных материалов на основе местных грунтов при обустройстве месторождений Западной Сибири // Материалы докл. на XX междунар. науч.-практ. конф. (Тюмень, 23 марта 2018 г.). Тюмень, 2018. – С. 251–256.
8. Востриков К. В., Смолин Ю. П., Клименок А. В. К методике разделения фильтрационной консолидации и ползучести скелета водонасыщенных грунтов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2018. – № 3 (46). – С. 70–76.
9. К определению граничных элементов в рамках модели водонасыщенного грунтового слоя конечной толщины / А. В. Шаповал [и др.] // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2012. – № 7–8 (172–173). – С. 57–64.
10. Смолин Ю. П., Караулов А. М., Востриков К. В. Решение задачи об определении осадки водонасыщенного анизотропного грунта, уплотняемого в условиях компрессии // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2017. – № 6 (702). – С. 113–121.
11. Соболев А. А. Расчет времени консолидации грунта с учетом фильтрационной анизотропии // Ползуновский альманах. – 2016. – № 3. – С. 215–218.
12. Агейкина О. В., Метелева Г. П. Исследование кинетических особенностей реакции эпексидирования циклогексена и аллилхлорида в двухфазных системах // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 2–1. – С. 96–100.



13. Берлина О. В. Эпоксидирование неперелых соединений пероксидом водорода в присутствии оксидогеотерополисоединений переходных металлов (W, Mo, V) и немелаллов (P, As, Si) в условиях межфазного катализа: Автореф. дис. канд. хим. наук. – Тюмень, 2007. – 23 с.
14. Паничева Л. П., Метелева Г. П., Берлина О. В. Особенности кинетики эпоксидирования неперелых соединений в условиях межфазного катализа // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. – 2007. – № 3. – С. 94–100.
15. Агейкина О. В., Метелева Г. П. Эпоксидирование олефинов в двухфазных водно-органических системах // Нефть и газ Западной Сибири: материалы докл. на междунар. науч.-техн. конф. (Тюмень, 2–3 ноября 2017 г.). – Тюмень, 2017. – С. 200–201.
16. Mathematical and computer modeling of filtration processes in earth dams / N. Ivanchuk [et al.] // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 2, Issue 6 (86). – P. 63–69.
17. Князева С. А. Решение одномерной задачи фильтрационной консолидации водонасыщенного глинистого грунта с учетом начального градиента напора // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 3 (68). – С. 77–83. DOI: 10.23968/1999-5571-2018-15-3-77-83
18. Мосичева И. И., Шаповал А. В. Консолидация водонасыщенного полупространства, к верхней границе которого приложена вертикальная сосредоточенная сила // Знание. – 2017. – № 1–1 (41). – С. 69–78.
19. Mosicheva I. I., Shapoval A. V. To an estimate of the accuracy of the asymptotic representation of the solution of the problem of the stress-strain state of a water-saturated half-space, to the upper boundary of which a vertical distributed load is applied over the area of a circle // Sciences of Europe. – 2017. – № 12–1 (12). – P. 64–74.
20. Подгорнова Н. Н. Фильтрационная консолидация глинистого грунта в основании дорожной конструкции // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2010. – № 1. – С. 96–100.
21. Агейкин В. Н., Воронцов В. В., Подгорнова Н. Н. Прогноз избыточных поровых давлений в переувлажненных грунтах // Геотехника: актуальные теоретические и практические проблемы. Межвуз. тематический сб. тр. – СПб., 2006. – С. 79–83.
22. Агейкин В. Н., Воронцов В. В. Кинетика избыточных поровых давлений в плоской задаче механики водонасыщенных глинистых грунтов // Труды Математического центра имени Н. И. Лобачевского. Т. 28. – Казань, 2004. – С. 7–11.

### References

1. Ageykina, O. V., & Ageykin, V. N. (2017). Opredelenie parametrov transportnykh potokov na promyslovykh dorogakh Zapadnoy Sibiri dlya ekologicheskikh raschetov. Problemy upravleniya rechnymi basseynami pri osvoenii Sibiri i Arktiki v kontekste global'nogo izmeneniya klimata planety v XXI veke: sbornik dokladov XIX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Tyumen, 17 March 2017). Tyumen, TIU Publ., pp. 13-17. (In Russian).
2. Protodyakonova, N. A. (2007). Matematicheskoe modelirovanie deformatsiy grunta pri ottaivanii s uchetom filtratsionnoy konsolidatsii. Avtoref. Diss. kand. fizmat. nauk. Tyumen, 23 p. (In Russian).
3. Bavbel, E. I., Naumenko, A. I., Zhilinsky, M. V. (2018). Development of the composition of low-cement composite binder to strengthen the local road soils. Sciences of Europe, (31-1(31)), pp. 43-46. (In English).
4. Bavbel, E. I., Naumenko, A. I., Cyprus, V. A., & Sinyak, E. S. (2018). Laboratory studies to strengthen the local soils of forest roads. Sciences of Europe, (31-1(31)), pp. 38-43. (In English).
5. Dashko, R. E. (2014). Issledovaniya i analiz protsessa konsolidatsii vodonasyschenykh glinistykh gruntov. Gruntovedenie, 1 (4), pp. 30-53. (In Russian).
6. Ageykina, O. V., & Ageykin, V. N. (2018). Khimicheskaya bezopasnost' pri ispol'zovanii kar-bamidoformal'degidnykh smol v dorozhnom stroitel'stve. Aktual'nye nauchnye i nauchno-tekhnicheskie problemy obespecheniya khimicheskoy bezopasnosti: materialy dokladov na IV mezhdunarodnoy konferentsii (Moscow, October 17–18, 2018), Moscow, pp. 149. (In Russian).
7. Ageykina, O. V., & Ageykin, V. N. (2018). Ekologicheskii aspekt primeneniya kompozitsionnykh materialov na osnove mestnykh gruntov pri obustroystve mestorozhdeniy Zapadnoy Sibiri. Materialy dokladov na XX mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Tyumen, 23 March 2018). Tyumen, pp. 251-256. (In Russian).
8. Vostrikov, K. V., Smolin, Yu. P., Klimenok, A. V. (2018). The Separation Technique of Filtration Consolidation and Creep of Saturated Soils Skeleton. The Siberian Transport University Bulletin, (3(46)), pp. 70-76. (In Russian).

9. Shapoval, A. V., Holovko, A. S., Tytyakova, E. S., & Andreev, V. S. (2012). K opredeleniyu hranychnykh élementov v ramkakh modely vodonasyschennogo hruntovogo sloya konechnoy tolshchiny. Visnyk Prydniprovskoy derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury, (7-8(172-173)), pp. 57-64. (In Russian).
10. Smolin, Yu. P., Karaulov, A. M., & Vostrikov, K. V. (2017). Consolidation process of saturated anisotropic clay soil during oedometer testing News of higher educational institutions. Construction, (6(702)), pp. 113-121. (In Russian).
11. Sobolev, A. A. (2016). Calculation of time consolidation of ground with regard filtration anisotropy. Polzunovskiy al'manakh, (3), pp. 215-218. (In Russian).
12. Ageykina, O. V., & Meteleva, G. P. (2015). The kinetic characteristics of the reaction of epoxidation of cyclohexene and allylchloride in two-phase systems. International Journal of Applied and Fundamental Research, (2-1), pp. 96-100. (In Russian).
13. Berlina, O. V. (2007). Epoksidirovanie nepredel'nykh soedineniy peroksidom vodoroda v prisutstvii oksoperoxsoeteropolisoedineniy perekhodnykh metallov (W, Mo, V) i nemetallov (P, As, Si) v usloviyakh mezhfaznogo kataliza. Avtoref. Diss. kand. khim. nauk. Tyumen, 23 p. (In Russian).
14. Panicheva, L. P., Meteleva, G. P., & Berlina, O. V. (2007). Osobennosti kinetiki epoksidirovaniya nepredel'nykh soedineniy v usloviyakh mezhfaznogo kataliza. Tyumen State University Herald. Natural Resource Use and Ecology, (3), pp. 94-100. (In Russian).
15. Ageykina, O. V., & Meteleva G. P. (2017). Epoksidirovanie olefinov v dvukhfaznykh vodno-organicheskikh sistemakh // Neft' i gaz Zapadnoy Sibiri: materialy dokladov na mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (Tyumen, November, 2-3, 2017). Tyumen, pp. 200-201. (In Russian).
16. Ivanchuk, N., Martynyuk, P., Tsvetkova, T., & Michuta, O. (2017). Mathematical and computer modeling of filtration processes in earth dams. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(6(86)), pp. 63-69. (In English).
17. Knyazeva, S. A. (2018). Solution for one-dimensional problem of saturated clayey soil filtration consolidation with consideration of the threshold pressure gradient. Bulletin of Civil Engineers, 15(3), pp. 77-83. (In Russian). DOI: 10.23968/1999-5571-2018-15-3-77-83
18. Mosicheva, I. I., & Shapoval, A. V. (2017). Konsolidatsiya vodonasyschennogo poluprostranstva, k verkhney granitse kotorogo prilozhena vertikal'naya sosredotochennaya sila. Znanie, (1-1(41)), pp. 69-78. (In Russian).
19. Mosicheva, I. I., & Shapoval, A. V. (2017). To an estimate of the accuracy of the asymptotic representation of the solution of the problem of the stress-strain state of a water-saturated half-space, to the upper boundary of which a vertical distributed load is applied over the area of a circle. Sciences of Europe, (12-1(12)), pp. 64-74. (In English).
20. Podgornova, N. N. (2010). Filtration consolidation of clay soil in the base of road construction. Oil and Gas Studies, (1), pp. 96-100. (In Russian).
21. Ageykin, V. N., Vorontsov, V. V., & Podgornova, N. N. (2006). Prognoz izbytochnykh porovykh davleniy v pereuvlzhnennykh gruntakh. Geotekhnika: aktual'nye teoreticheskie i prakticheskie problemy. Mezhvuzovskiy temacheskii sbornik trudov. St. Petersburg, pp. 79-83. (In Russian).
22. Ageykin, V. N., & Vorontsov, V. V. (2004). Kinetika izbytochnykh porovykh davleniy v ploskoy zadache mekhaniki vodonasyschennykh glinistykh gruntov. Trudy Matematicheskogo tsentra imeni N. I. Lobachevskogo. Tom 28. Kazan, pp. 7-11. (In Russian).

#### **Сведения об авторах**

**Агейкина Оксана Владимировна**, к. х. н., доцент кафедры общей и специальной химии, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, e-mail: [berlinao@yandex.ru](mailto:berlinao@yandex.ru)

**Воронцов Вячеслав Викторович**, к. т. н., доцент, директор Департамента образования Администрации города Тюмени, г. Тюмень

**Суфьянов Рудольф Рауфович**, генеральный директор НИИИ «Нефтегазпроект», Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

#### **Information about the authors**

**Oksana V. Ageikina**, Candidate of Chemistry, Associate Professor at the Department of General and Special Chemistry, Industrial University of Tyumen, e-mail: [berlinao@yandex.ru](mailto:berlinao@yandex.ru)

**Vyacheslav V. Vorontsov**, Candidate of Engineering, Associate Professor, Director of the Department of Education, Administration of the City of Tyumen

**Rudolf R. Sufyanov**, General Director of the Research and Design Institute "Neftegazproekt", Industrial University of Tyumen