УДК 550.82 DOI: 10.21440/0536-1028-2022-1-34-44

Определение геомеханических свойств юрских и доюрских отложений Томской области

Шадрин А. С.[1]*, Коношонкин Д. В.[2], Антонов А. Е.[1], Рукавишников В. С.[1], Петрова Д. С.[2]

[1] Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

[2] Компания «Газпромнефть–Технологические партнерства», г. Санкт-Петербург, Россия

e-mail: shadrinandreyserg@gmail.com

Реферат

Введение. *Геомеханические свойства горных пород используются как входные данные для геомеханического моделирования и последующих расчетов дизайна гидравлического разрыва пласта, оценки пескопроявления скважин, расчета стабильности бурения, оценки трещиноватости и других операций разведки и разработки месторождений нефти и газа, связанных с геомеханикой. Качество выполняемых расчетов существенно зависит от точности определения геомеханических свойств горных пород, однако для их точного определения необходим большой объем керновых исследований, которые чаще всего отсутствуют. В данной работе обобщены корреляционные связи между геофизическими параметрами и геомеханическими свойствами по серии месторождений Томской области, расположенных в южной части Нюрольской впадины. Приведенные корреляционные связи могут быть использованы на других месторождениях с аналогичными геологическими условиями, где объем исследований низкий или лабораторные исследования отсутствуют.*

Цель работы. *Обобщение корреляционных связей в виде схем между геофизическими параметрами и геомеханическими свойствами (модуль Юнга, коэффициент Пуассона, предел прочности на сжатие, тангенс угла внутреннего трения) по серии месторождений Томской области, расположенных в южной части Нюрольской впадины.*

Методология. *В основу предложенных схем положены лабораторные исследования керна различных литотипов, а также статистический анализ полученных данных.*

Результаты. *Результатом проделанной работы являются схемы расчета механических свойств. Согласно предложенным схемам сначала рассматривается литология описываемых горных пород, затем, исходя из имеющегося набора геофизических исследований, выбирается корреляционная зависимость с указанным для нее интервалом неопределенности.*

Выводы. *Результаты проделанной работы позволяют провести геомеханическое моделирование в условиях недостатка или отсутствия лабораторных исследований керна для изучаемого месторождения. Предлагаемые корреляционные связи рекомендуется уточнять при проведении лабораторных исследований для изучаемого объекта.*

Ключевые слова: *геомеханика; корреляция; модуль Юнга; коэффициент Пуассона; предел прочности; тангенс угла внутреннего трения; механическая фация.*

Введение. На данный момент развития технологий прямое определение механических параметров из геофизических свойств пород невозможно. Исходя из этого геомеханики ищут надежные эмпирические уравнения, которые позволят с достоверностью прогнозировать прочностные свойства пород.

На протяжении долгих лет ученые разных стран исследуют эмпирические зависимости геомеханических свойств пород от различных параметров (табл. 1) [1].

Корреляции для угла внутреннего трения менее изучены по сравнению с другими геомеханическими свойствами пород, что обеспечивает актуальность и необходимость данных исследований.

Таблица 1. Эмпирические уравнения для расчета геомеханических параметров
Table 1. Empirical equations for geomechanical parameters calculation

Автор	Уравнение	Геомеханическая фация
Freyburg [2]	$UCS = 0{,}035V_p - 31{,}5$	–
McNally [3]	$UCS = 1200e^{-0{,}036\Delta t}$	Мелкозернистые песчаники
Fjaer et al. [4]	$UCS = 3{,}3\cdot 10^{-20}\rho^2 V_p^4\left[(1+\nu)/(1-\nu)\right]^2 \times$ $\times(1-2\nu)\left[1+0{,}78V_{\text{clay}}\right]$	Песчаники со значением предела прочности на сжатие > 30 МПа
Moos et al. [5]	$UCS = 1{,}745\cdot 10^{-9}\rho V_p^2 - 21$	Крупнозернистые песчаники и конгломераты
Bradford [6]	$UCS = 2{,}28 + 4{,}1089E$	–
Vernik et al. [7]	$UCS = 254(1-2{,}7\varnothing)^2$	Чистые песчаники
Аноп и др. [8]	$E = 120{,}59\varnothing^{-0{,}4435}$	–
Descamps et al. [9]	$E = 224800e^{-0{,}112\varnothing}$	–
Пеньков и др. [10]	$v_{\text{дин}} = 4\cdot 10^{-5}V_p + 0{,}138$	Песчаники
Plumb [11]	$\varphi = 26{,}5 - 37{,}4\left(1 - PHI - V_{\text{clay}}\right) +$ $+ 62{,}1\left(1 - PHI - V_{\text{clay}}\right)^2$	Песчаники

UCS – предел прочности на одноосное сжатие; ρ – объемная плотность; V_{clay} – коэффициент объемной глинистости; *E* – статический модуль Юнга; φ – угол трения; *PHI* – открытая пористость.

Исследования прочностных свойств пород в России проводились как в XX, так и в XXI веке (в том числе М. М. Протодьяконовым и др. [12], Д. В. Карасевым и Т. В. Карасевой [13]). Однако на сегодняшний день изыскания для территории Томской области ограничиваются уравнениями, полученными для определенных площадей [8, 14] либо для определенных свит [15].

Например, в статье [16] приведены результаты работы по получению эмпирических уравнений предела прочности и угла внутреннего трения для песчаников юрской формации Западной Сибири. Данные исследования достаточно точно определяют прочностные свойства пород юрских отложений, но не могут быть использованы для отложений доюрского возраста.

Целью данной работы является обобщение корреляционных связей между геофизическими параметрами и геомеханическими свойствами для южной части Нюрольской впадины Томской области как для интервала юрских отложений, так и для отложений доюрского комплекса. Полученные уравнения могут быть использованы при определении механических параметров горных пород по данным ГИС.

При выполнении работы использовались данные по 11 месторождениям Томской области.

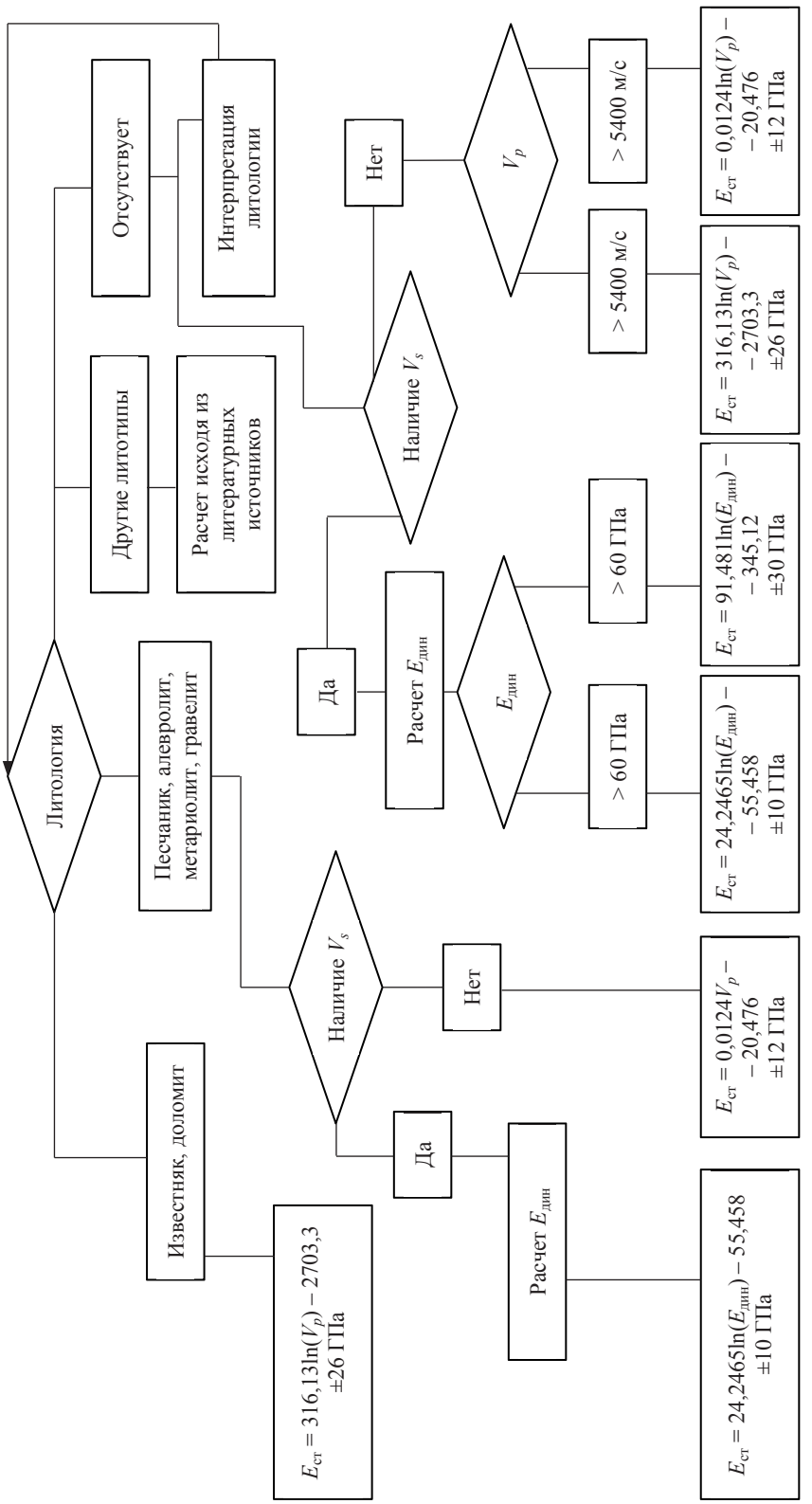

Рисунок 1. Схема расчета статического модуля Юнга
Figure 1. Scheme for static Young's modulus calculation

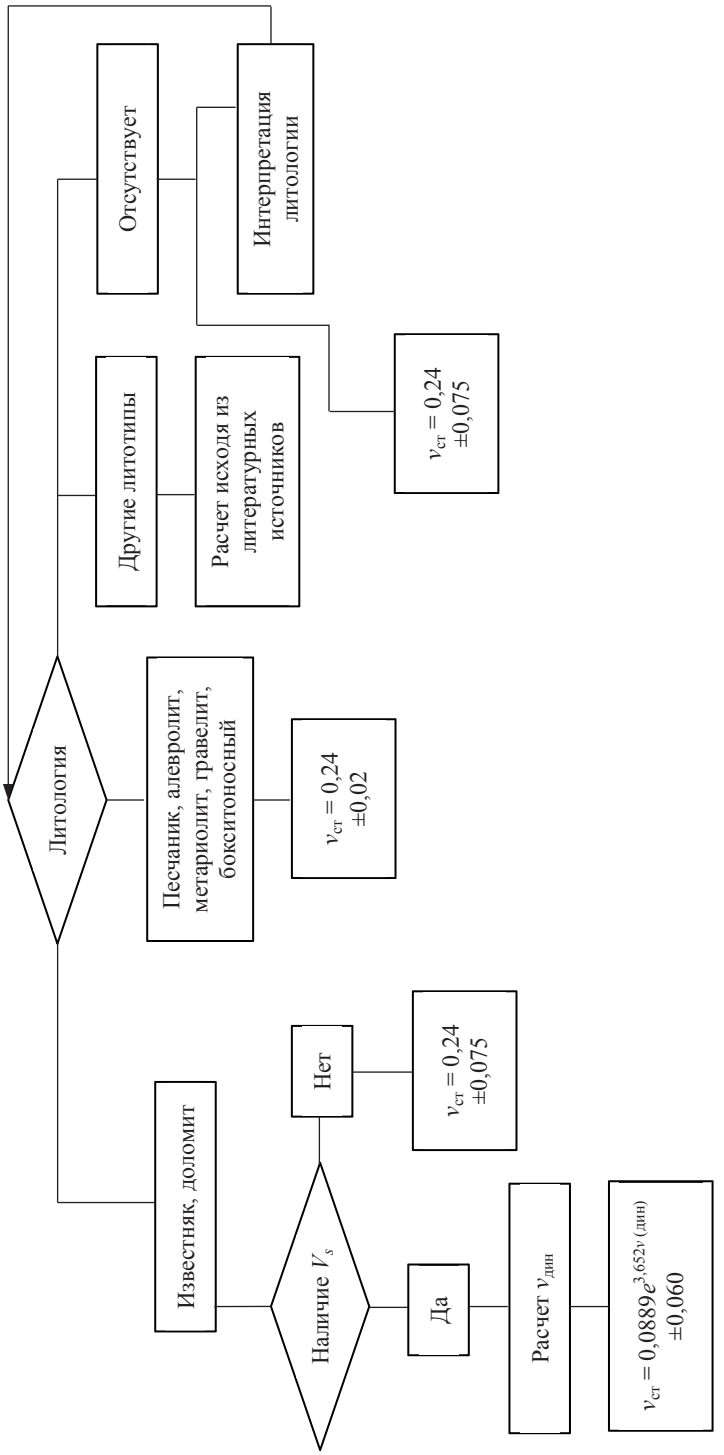

Рисунок 2. Схема расчета коэффициента Пуассона
Figure 2. Scheme for Poisson's ratio calculation

Методология исследований. Геомеханические свойства пород изменяются в больших диапазонах. Исходя из этого, при получении корреляционных уравнений для уточнения прогнозной способности геомеханических свойств по ГИС зачастую производят деление образцов по геомеханическим фациям [17], которые в свою очередь часто совпадают с литологическим типом пород.

В рамках данной работы также было проведено деление образцов по геомеханическим фациям. Деление произведено на основании распределения значений геомеханических свойств горных пород. Так, по значениям статического модуля Юнга, предела прочности и тангенса угла внутреннего трения было выделено 3 геомеханические фации:

– бокситоносный латерит;

– песчаник, алевролит, гравелит и метариолит;

– известняк и доломит.

Механическая фация карбонатов характеризуется повышенными значениями прочностных и упругих свойств, заметно выделяющихся на фоне остальных исследований. Значения модуля Юнга изменяются в широких пределах (от 10 до 107,5 ГПа). Выделяется интервал 45,0–47,5 (4 образца керна), а также интервал 70–75 ГПа. Коэффициент Пуассона для механической фации карбонатов в целом распределен равномерно по шкале значений (0,12–0,31) с выделяющимся интервалом 0,20–0,31 (для известняка). Значения предела прочности на сжатие распределены по шкале от 25 до 245 МПа с выделяющимся интервалом 65–125 МПа. Значения тангенса угла внутреннего трения равномерно распределены в интервале 0,4–1,2.

Для бокситоносного латерита характерны пониженные значения модуля Юнга и прочностных свойств. Модуль Юнга изменяется в пределах 11–13 ГПа. Значения для предела прочности единичных образцов латерита составляют 7 и 12 МПа. Тангенса угла внутреннего трения – 0,26 и 0,39.

Остальные литотипы создают отдельную геомеханическую фацию со средними значениями как прочностных, так и упругих свойств. Значения модуля Юнга изменяются в пределах 20,0–47,5 ГПа, коэффициента Пуассона – 0,23–0,27, предела прочности – 20–60 МПа, тангенса угла внуреннего трения – 0,4–1,2.

При исследовании распределения значений коэффициента Пуассона бокситоносный латерит в отдельную геомеханическую фацию не выделяется, так как не выделяется из механической фации со средними значениями коэффициента Пуассона.

В итоге все исследованные образцы четко разделяются на 2 геомеханические фации:

– песчаник, алевролит, гравелит, метариолит и бокситоносный латерит;

– известняк и доломит.

Для получения корреляционных методов возможно использование различных методик [18]. В основу методологии определения уравнений для расчета механических свойств по ГИС положен корреляционный анализ зависимостей типа *керн–керн* для выделенных геомеханические фаций. При исследовании статических упругих свойств (модуль Юнга и коэффициент Пуассона) были построены корреляционные зависимости от геофизических свойств пород: скоростей пробега продольной и поперечной волны, динамического модуля Юнга и динамического коэффициента Пуассона.

Модуль Юнга определялся на ветви разгружения зависимости напряжения от относительной деформации. Статические модули и коэффициенты были определены при двух различных значениях нагрузок. Значения интервалов нагрузок варьируются для каждого испытания, и поэтому интервалы нагрузок условно поделены на *интервал высоких нагрузок* и *интервал низких нагрузок* со значениями, варьи-

рующимися в диапазонах 45–55 МПа и 35–45 МПа соответственно. Для модуля Юнга наиболее высокий коэффициент детерминации R^2 достигается для результатов исследований при высоком интервале нагрузок для аналогичных зависимостей. Для коэффициента Пуассона интервал нагрузок не влияет на результат корреляции.

Наилучшей корреляцией обладают зависимости статического модуля Юнга от динамического (рассчитанного через скорость пробега поперечной волны) и скорости пробега продольной волны с коэффициентами детерминации 0,37 и 0,35 соответственно для механической фации песчаника, алевролита, гравелита и метариолита. Для карбонатов наилучшей корреляцией обладает зависимость от скорости пробега продольной волны, которая и предлагается для расчета параметра.

Для коэффициента Пуассона корреляционная связь прослеживается только для зависимости от динамического коэффициента Пуассона с низким коэффициентом детерминации $R^2 = 0{,}28$. В остальных случаях наиболее рациональным с точки зрения неопределенности является принятие статического коэффициента Пуассона с постоянным значением.

Для образцов керна на исследование прочностных свойств пород (предел прочности, тангенс угла внутреннего трения) было больше данных, вследствие чего при проведении корреляционного анализа исходили из большего числа зависимостей (скорости пробега продольной и поперечной волны, динамический модуль Юнга, открытая пористость, объемная плотность пород).

При определении прогнозных зависимостей для предела прочности и тангенса угла внутреннего трения рассматривались корреляционные связи с плотностью, скоростью волн, открытой пористостью, а также зависимость от динамического модуля Юнга.

Наибольший коэффициент детерминации для предела прочности R^2 наблюдается при корреляции предела прочности на сжатие со статическим модулем Юнга. Однако статический модуль Юнга также рассчитывается по данным ГИС и имеет неопределенность. Коэффициент детерминации между статическим и динамическим модулем Юнга составляет $R^2 = 0{,}232$, что, соответственно, скажется и на низкой расчетной способности предела прочности на сжатие в скважине. В процессе моделирования слабые корреляционные зависимости прочностных свойств выразятся в неопределенностях, которые необходимо уточнять в процессе калибровки модели.

Итоговая неопределенность была определена исходя из сравнения расчетов напрямую через скорость поперечной волны и через статический модуль Юнга, а также последовательными расчетами: статического модуля Юнга через динамический и затем параметра предела прочности. При сравнении с двумя другими графиками степень неопределенности при расчете через статический модуль Юнга и напрямую через скорость поперечной волны и динамический модуль Юнга сопоставимы.

Для тангенса угла внутреннего трения также построена зависимость типа *керн–интерпретация ГИС* от глинистости. В результате выведены эмпирические уравнения и посчитан интервал неопределенности. Так как на практике зачастую отсутствуют некоторые исследования, то исходя из имеющихся данных были составлены схемы расчета геомеханических свойств (рис. 1–4).

Условные обозначения для схем на рис. 1–4: $E_{ст}$ – статический модуль Юнга; $E_{дин}$ – динамический модуль Юнга; V_s – скорость поперечной волны; V_p – скорость продольной волны; $\nu_{ст}$ – статический коэффициент Пуассона; $\nu_{дин}$ – динамический коэффициент Пуассона; C – предел прочности на сжатие; $K_{п.откр}$ – коэффициент открытой пористости; ρ – объемная плотность породы; $\mathrm{Tan}(\mu)$ – тангенс угла внутреннего трения.

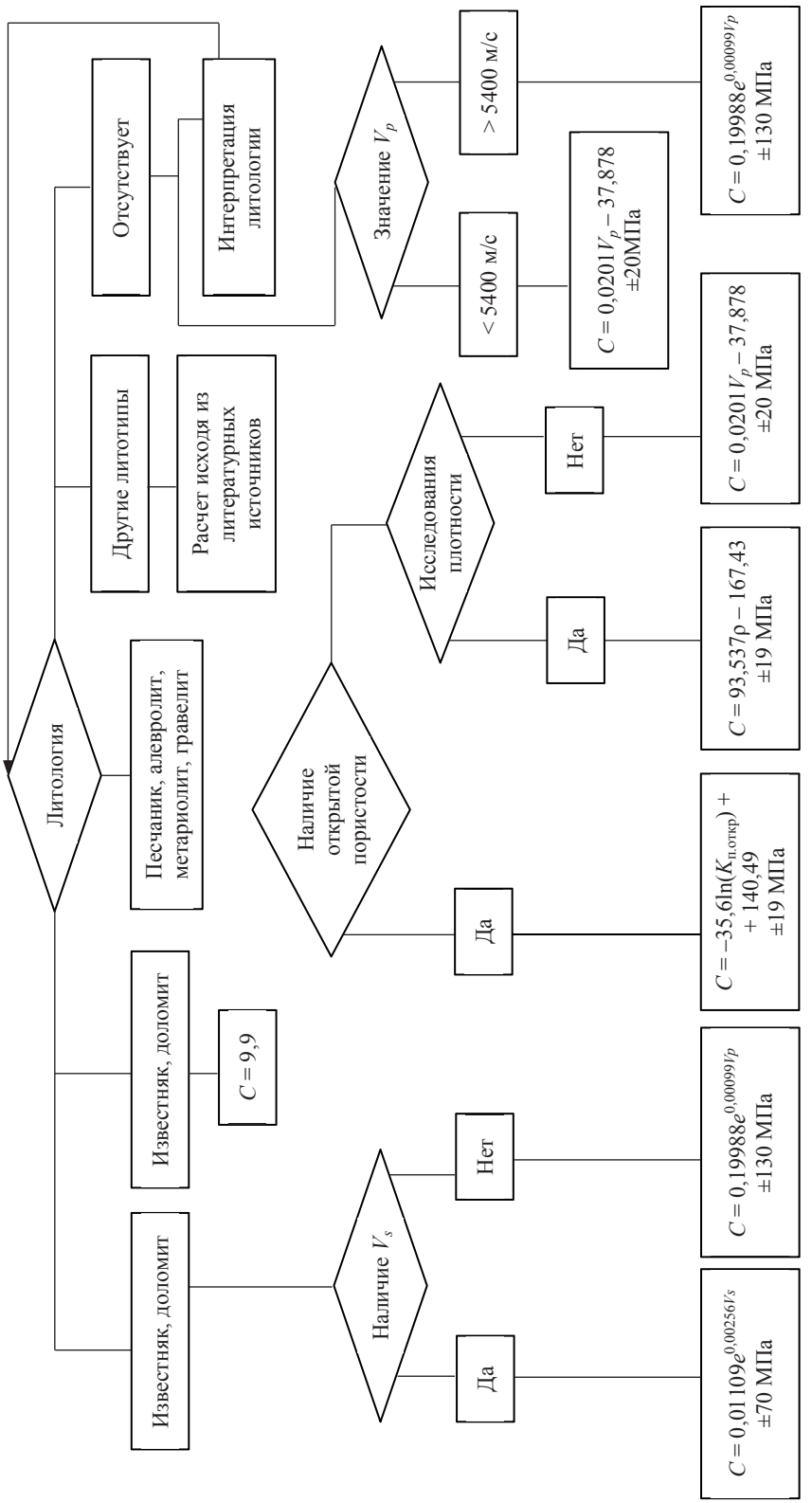

Рисунок 3. Схема расчета предела прочности
Figure 3. Scheme for ultimate strength calculation

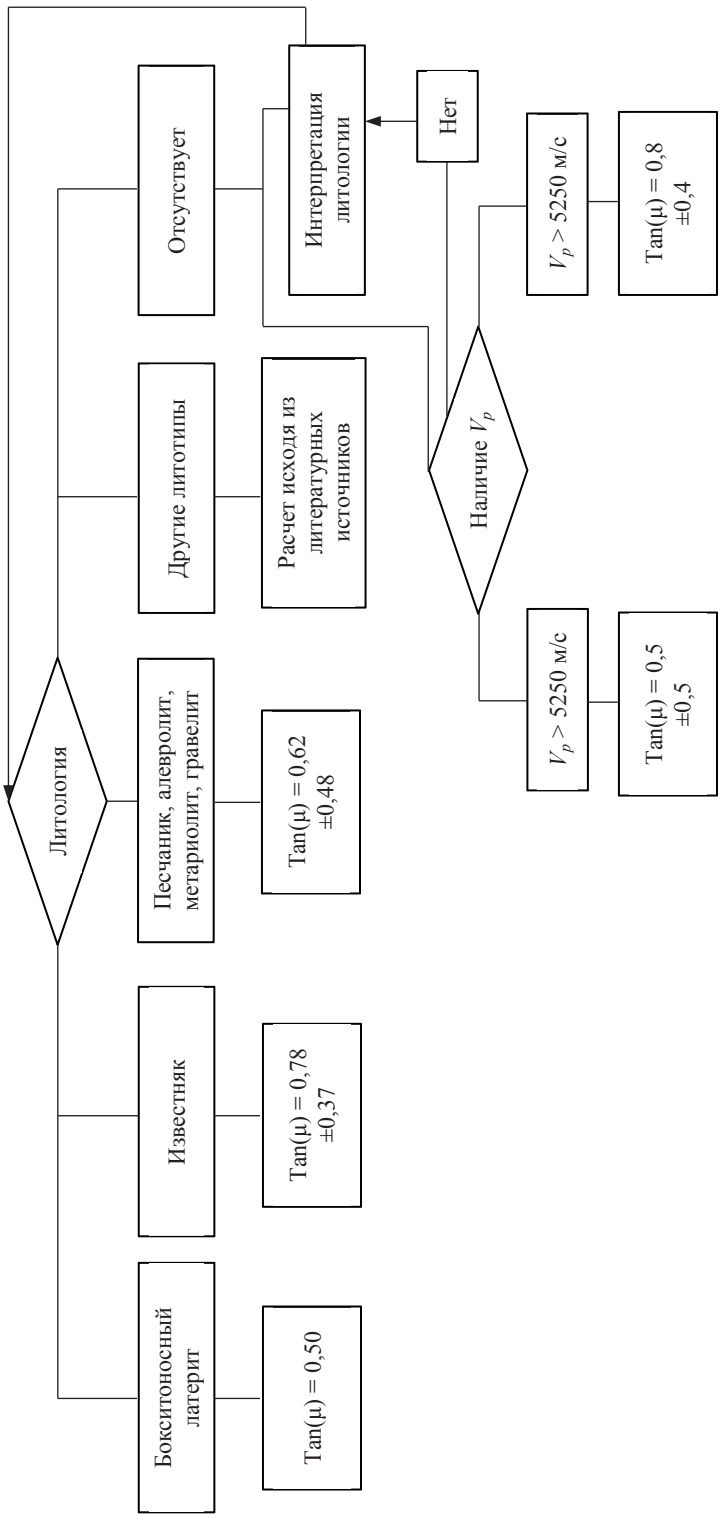

Рисунок 4. Схема расчета тангенса угла внутреннего трения
Figure 4. Scheme for the tangent of the internal friction angle calculation

В качестве примера разберем схему выбора уравнения для расчета предела прочности (рис. 3). В первую очередь весь разрез необходимо разбить на литологические типы пород. Далее исходя из механической фации и имеющихся данных подбирается формула с заданным интервалом неопределенности. Например, для метариолита при отсутствии данных об открытой пористости и результатов определения объемной плотности расчет предела прочности на сжатие производится по формуле:

$$C = 0,0201V_{\text{р}} - 37,878.$$

При этом неопределенность составит ±20 МПа.

Выводы. По геомеханическим свойствам выделены геомеханические фации. Для каждой механической фации представлена схема расчета всех геомеханических свойств и показан интервал неопределенности в зависимости от имеющихся исходных данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Chang C., Zoback M. D., Khaksar A. Empirical relations between rock strength and physical properties in sedimentary rocks // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2006. Vol. 51. No. 3–4. P. 223–237.

2. Freyburg E. Der Untere und mittlere Buntsandstein SW-Thuringen in seinen gesteinstechnicschen Eigenschaften // Berichte der Deutsche. Gesellschaft Geologische Wissenschaften A. 1972. Vol. 176. P. 911–919.

3. McNally G. H. Estimation of coal measures rock strength using sonic and neutron logs // Geoexploration. 1987. Vol. 24. No. 4–5. P. 381–395.

4. Moos D., Zoback M. D., Bailey L. Feasibility study of the stability of openhole multilaterals, Cook Inlet, Alaska // SPE Drilling & Completion. 2001. Vol. 16. No. 03. P. 140–145.

5. Bradford I. D. R. et al. Benefits of assessing the solids production risk in a North Sea reservoir using elastoplastic modelling // SPE/ISRM Rock Mechanics in Petroleum Engineering. OnePetro, 1998.

6. Vernik L., Bruno M., Bovberg C. Empirical relations between compressive strength and porosity of siliciclastic rocks // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts. 1993. Vol. 30. No. 7. P. 677–680.

7. Аноп А. А., Щемелинин Ю. А., Раздобреева Н. И., Ледовская Т. И. Упругие характеристики коллекторов Крапивинского месторождения Томской области // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2011. Т. 318. № 1. С. 106–108.

8. Descamps F. et al. Relationships between geomechanical properties and lithotypes in NW European chalks // Geological Society. 2017. Vol. 458. No. 1. P. 227–244.

9. Пеньков Г. М., Карманский Д. А., Петраков Д. Г. Исследование зависимостей между физико-механическими свойствами песчаника и скоростью прохождения упругих волн // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология, нефтегазовое и горное дело. 2020. Т. 20. №. 1. С. 27–36.

10. Plumb R. A. Influence of composition and texture on the failure properties of clastic rocks // Rock Mechanics in Petroleum Engineering. 1994. SPE-28022-MS. DOI: https://doi.org/10.2118/28022-MS

11. Шубин А. А., Кудымов А. Ю., Яценко В. М. Методические аспекты изучения механических свойств пород баженовской свиты // Нефтяное хозяйство. 2020. № 3. С. 43–46.

12. Распределение и корреляция показателей физических свойств горных пород / М. М. Протодьяконов [и др.]. М.: Недра, 1981. С. 185–187.

13. Карасев Д. В., Карасева Т. В. Закономерности изменения прочностных свойств горных пород на больших глубинах в нефтегазоносных районах // Нефтегазовое дело. 2013. № 5. С. 115–130.

14. Tashkinov V., Konoshonkin D. The rock strength properties determination of the jurassic formation sandstones by updating empirical relations for mechanical earth model construction // Innovations in Geosciences #65533; Saint Petersburg: Time for Breakthrough, 2018. DOI: 10.3997/2214-4609.201800162

15. Шустов Д. В. Анизотропия физико-механических свойств сланцевых пород Баженовской свиты // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 4. С. 55–60.

16. Nugmanov I. I. et al. Geomechanical properties of Bashkirian carbonates from Akanskoye deposit subject to lithogenetic type (Russian) // Neftyanoe khozyaystvo–Oil Industry. 2018. Vol. 2018. No. 2. P. 30–35.

17. Coates G. R., Denoo S. A. Log derived mechanical propertie and rock stress // 21st Annual Logginig Symposium, Trans. 1980. Vol. 8–11. P. 1–12.

18. Салимов О. В. Определение геомеханических параметров по промыслово-геофизическим данным // Нефтяное хозяйство. 2017. № 6. С. 30–33.

Поступила в редакцию 19 июля 2022 года

Сведения об авторах:

Шадрин Андрей Сергеевич – студент отделения Нефтегазового дела Национального исследовательского Томского политехнического университета. E-mail: shadrinandreyserg@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-1544-7978
Коношонкин Дмитрий Владимирович – инженер лаборатории геологии Национального исследовательского Томского политехнического университета. E-mail: konoshonkindv@hw.tpu.ru; https://orcid.org/0000-0002-9939-2301
Антонов Антон Евгеньевич – студент отделения Нефтегазового дела Национального исследовательского Томского политехнического университета. E-mail: antonovae@hw.tpu.ru; https://orcid.org/0000-0002-2761-3830
Рукавишников Валерий Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по развитию Национального исследовательского Томского политехнического университета. E-mail: rukavishnikov@tpu.ru; https://orcid.org/0000-0001-7063-9756
Петрова Дарья Сергеевна – руководитель направления компании «Газпромнефть–Технологические партнерства». E-mail: petrova.ds@gazpromneft-ntc.ru; https://orcid.org/0000-0002-8488-8347

DOI: 10.21440/0536-1028-2022-1-34-44

Determination of geomechanical properties of the Jurassic and Pre-Jurassic sediments of the Tomsk region

Andrei S. Shadrin[1], Dmitrii V. Konoshonkin[2], Anton E. Antonov[1], Valerii S. Rukavishnikov[1], Daria S. Petrova[2]
[1] National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia.
[2] Gasprom Neft – Technology Partnerships, St. Petersburg, Russia.

Abstract

Introduction. *Geomechanical properties of rocks are used as input data for geomechanical modeling and subsequent calculations of hydraulic fracturing design, assessment of sand production of wells, calculation of drilling stability, assessment of fracturing, and other exploration and development of oil and gas fields related to geomechanics. The quality of the calculations performed significantly depends on the accuracy of determining the geomechanical properties of rocks. However, their accurate determination requires a large volume of core studies, which are often absent. This paper summarizes the correlation between geophysical parameters and geomechanical properties for a series of fields in the Tomsk region, located in the southern part of the Nyurolskaya depression. The above correlations can be used in other fields with similar geological conditions, where the research volume is low or laboratory research is absent.*

Research objective. *Generalization of correlations in the form of diagrams between geophysical parameters and geomechanical properties (Young's modulus, Poisson's ratio, ultimate strength, and tangent of the angle of internal friction) for a series of fields in the Tomsk region located in the southern part of the Nyurolskaya depression.*

Methods of research. *The proposed schemes are based on laboratory studies of core samples of various lithotypes, as well as statistical analysis of the data obtained.*

Research results. *The result of the work is the scheme for calculating the mechanical properties. According to the proposed schemes, first, the lithology of the described rocks is considered; then, based on the available set of geophysical studies, a correlation dependence with the specified uncertainty interval is selected.*

Conclusion. *The results of the work conducted make it possible to carry out geomechanical modeling in the shortage or absence of laboratory core studies for the field studied. It is recommended to clarify the proposed correlations when conducting laboratory studies for the object under study.*

Keywords: *geomechanics; correlations; Young's modulus; Poisson's ratio; ultimate strength; tangent of the angle of internal friction; mechanical facies.*

REFERENCES

1. Chang C., Zoback M. D., Khaksar A. Empirical relations between rock strength and physical properties in sedimentary rocks. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2006; 51(3–4): 223–237.
2. Freyburg E. Der Untere und mittlere Buntsandstein SW-Thuringen in seinen gesteinstechnicschen Eigenschaften. *Berichte der Deutsche. Gesellschaft Geologische Wissenschaften A.* 1972; 176: 911–919.
3. McNally G. H. Estimation of coal measures rock strength using sonic and neutron logs. *Geoexploration*. 1987; 24(4–5): 381–395.

4. Moos D., Zoback M. D., Bailey L. Feasibility study of the stability of openhole multilaterals, Cook Inlet, Alaska. *SPE Drilling & Completion*. 2001; 16(03): 140–145.

5. Bradford I. D. R. et al. Benefits of assessing the solids production risk in a North Sea reservoir using elastoplastic modelling. *SPE/ISRM Rock Mechanics in Petroleum Engineering*. OnePetro; 1998.

6. Vernik L., Bruno M., Bovberg C. Empirical relations between compressive strength and porosity of siliciclastic rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*. 1993; 30(7): 677–680.

7. Anop A. A., Shchemelinin Iu. A., Razdobreeva N. I., Ledovskaia T. I. Elastic behavior of collectors at the Krapivinsky deposit in the Tomsk region. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2011; 318(1): 106–108. (In Russ.)

8. Descamps F. et al. Relationships between geomechanical properties and lithotypes in NW European chalks. *Geological Society*. 2017; 458(1): 227–244.

9. Penkov G. M., Karmanskii D. A., Petrakov D. G. Study of the relationships between physical and mechanical properties of the sandstone and velocity of elastic waves. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatelskogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiia, neftegazovoe i gornoe delo = Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*. 2020; 20(1): 27–36. (In Russ.)

10. Plumb R. A. Influence of composition and texture on the failure properties of clastic rocks. *Rock Mechanics in Petroleum Engineering*. 1994. SPE-28022-MS. Available from: doi: https://doi.org/10.2118/28022-MS

11. Shubin A. A., Kudymov A. Iu., Iatsenko V. M. Methodical aspects of studying mechanical properties of rocks of Bazhenov formation. *Neftianoe khoziaistvo = Oil Industry*. 2020; 3: 43–46. (In Russ.)

12. Protodiakonov M. M. et al. *Distribution and correlation of rock physical properties indices*. Moscow: Nedra Publishing; 1981: 185–187. (In Russ.)

13. Karasev D. V., Karaseva T. V. Regularities of changes of deep rocks strength properties in oil-and-gas areas. *Neftegazovoe delo = Petroleum Engineering*. 2013; 5: 115–130. (In Russ.)

14. Tashkinov V., Konoshonkin D. The rock strength properties determination of the jurassic formation sandstones by updating empirical relations for mechanical earth model construction. *Innovations in Geosciences; Saint Petersburg: Time for Breakthrough, 2018*. Available from: doi: 10.3997/2214-4609.201800162

15. Shustov D. V. Bazhen formation shale rock physical and mechanical properties anisotropy. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering*. 2019; 4: 55–60. (In Russ.)

16. Nugmanov I. I. et al. Geomechanical properties of Bashkirian carbonates from Akanskoye deposit subject to lithogenetic type (Russian). *Neftianoe khoziaistvo = Oil Industry*. 2018; 2018(2): 30–35.

17. Coates G. R., Denoo S. A. Log derived mechanical propertie and rock stress. *21st Annual Logginig Symposium, Trans*. 1980; 8–11: 1–12.

18. Salimov O. V. Determination of geomechanical parameters based on well logging data. *Neftianoe khoziaistvo = Oil Industry*. 2017; 6: 30–33. (In Russ.)

Received 19 July 2021

Information about authors:

Andrei S. Shadrin – student, Department of Petroleum Engineering, National Research Tomsk Polytechnic University. E-mail: shadrinandreyserg@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-1544-7978
Dmitrii V. Konoshonkin – engineer, Laboratory of Geology, National Research Tomsk Polytechnic University. E-mail: konoshonkindv@hw.tpu.ru; https://orcid.org/0000-0002-9939-2301
Anton E. Antonov – student, Department of Petroleum Engineering, National Research Tomsk Polytechnic University. E-mail: antonovae@hw.tpu.ru; https://orcid.org/0000-0002-2761-3830
Valerii S. Rukavishnikov – PhD (Engineering), Associate Professor, Deputy Development Director, National Research Tomsk Polytechnic University. E-mail: rukavishnikov@tpu.ru; https://orcid.org/0000-0001-7063-9756
Daria S. Petrova – section head, Gasprom Neft – Technology Partnerships. E-mail: petrova.ds@gazpromneft-ntc.ru; https://orcid.org/0000-0002-8488-8347

Для цитирования: Шадрин А. С., Коношонкин Д. В., Антонов А. Е., Рукавишников В. С., Петрова Д. С. Определение геомеханических свойств юрских и доюрских отложений Томской области // Известия вузов. Горный журнал. 2022. № 1. С. 34–44. DOI: 10.21440/0536-1028-2022-1-34-44
For citation: Shadrin A. S., Konoshonkin D. V., Antonov A. E., Rukavishnikov V. S., Petrova D. S. Determination of geomechanical properties of the Jurassic and Pre-Jurassic sediments of the Tomsk region. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering*. 2022; 1: 34–44 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2022-1-34-44