

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ТЕЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТРУКТУРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ

В статье на примере пласта БС₁₀ одного из нефтяных месторождений Западной Сибири предложено обсудить проблему повышения достоверности построения геолого-фильтрационных моделей и эффективности её практического использования путём совершенствования методики построения модели геологических тел с привлечением классических и новых представлений о фациях, а также на основе структурно-генетического подхода.

Ключевые слова: структурные построения, фация, моделирование, геологическое тело.

В настоящее время специалистами высказаны ряд предложений, касающихся возможных путей повышения достоверности построения моделей и эффективности её практического использования. В данной статье авторы обращаются к известным в геологической практике положениям и предлагают обсудить их на примере пласта БС₁₀ одного из Западно-Сибирских нефтяных месторождений.

1. Направления развития математического моделирования. При рассмотрении основных направлений развития моделирования обычно речь идёт об усложнении модели за счёт дополнительных факторов, сопровождающих процесс разработки и пространственно-временной детализации. Детализацию модели можно провести за счёт измельчения расчётных сеток или уменьшения шагов по времени и улучшения техники счёта, а также усложнения используемых алгоритмов. При этом собственно геологические вопросы, считаются давно решёнными, и поэтому их принято учитывать с помощью стандартных процедур моделирования (интерполяция, стохастика и др.). Информация о толщине, начальной нефтенасыщенности, пористости, проницаемости, свойствах нефтей и относительных фазовых проницаемостях считается известной и берётся из научно-производственных отчётов. Необходимость проведения новых исследований при этом часто игнорируется. К этому следует добавить процедуру «апскейлинга», которая нивелирует геологическую структуру пласта. В результате в модели геологическое строение передаётся в достаточно общей форме. По этой причине построенная на ее основе фильтрационная модель будет

иметь низкую информативность и не будет способна передать влияние геологических факторов на выработку текущих запасов нефти. Такая модель не окупает затраченных средств на приобретение программных средств, формирование базы данных и создание геолого-фильтрационной модели.

Усложнение «математического аппарата» наиболее целесообразно для более детальной передачи в модели геологических особенностей, таких как тектонические нарушения, строение и морфология геологических тел, что позволяет достичь лучшей увязки модели с особенностями разработки. Основным критерием целесообразности построения геологической модели должно быть получение новых, ранее не известных науке и практике результатов.

2. Выбор способа построения сеточной области. Согласно национальному стандарту РФ (Поиск, разведка и разработка..., 2008) цифровая геологическая модель это «представление продуктивных пластов и вмещающей их геологической среды в виде набора цифровых карт (двумерных сеток) или трёхмерной сетки ячеек». Модель включает также базу данных и программное обеспечение. При моделировании наибольшее распространение получил геометрический способ построения сеточной области, когда расстояние от кровли до подошвы пласта покрывается равномерной по координате Z сеточной областью. Причём наиболее достоверным вариантом считается шаг сетки по вертикали равный шагу квантования по геофизическим данным, то есть – 0.2 м. Затем все элементы сеточной области делятся на «коллектор – неколлектор» для чего

Окончание статьи А.В. Радаева, Н.Р. Батракова, И.А. Кондратьева, А.А. Мухамадиева, А.Н. Сабирзянова «Экспериментальное исследование процесса вытеснения...»

A.V. Radaev, N.R. Batrakov, I.A. Kondratiev, A.A. Mukhamadiev, A.N. Sabirsyaynov. **Experimental research of process of replacement heavy oil by supercritical carbon dioxide in the wide range of thermobaric conditions.**

The experimental installation is created, allowing to carry out research of oil replacement at thermobaric conditions of real deposits at pressure up to 20 MPa and temperatures to 373 K within a wide range of thermobaric, geological, physical and chemical conditions in a layer and regime parameters of the superseding agent. Replacement experiments of transformer oil from layer model by supercritical carbon dioxide in the range of temperatures 313 – 353 K, pressure – 7 – 12 MPa are made. Results testified that increase of temperature leads to considerable decrease of oil recovery factor at pressure above the critical.

Key words: supercritical fluid, oil recovery factor, difficult oil.

Андрей Викторович Радаев

ассистент каф. теоретических основ теплотехники

Нурис Ренатович Батраков

инженер каф. теоретических основ теплотехники.

Илья Александрович Кондратьев

студент каф. энергомашиностроения и технологического оборудования.

Анвар Ахнафович Мухамадиев

к.т.н., доц. каф. теоретических основ теплотехники

Айдар Назимович Сабирзянов

д.т.н., проф. каф. теоретических основ теплотехники.

Казанский государственный технологический университет. 420008, Казань, Халева, 9-36. Тел.: 8-9274-019368.

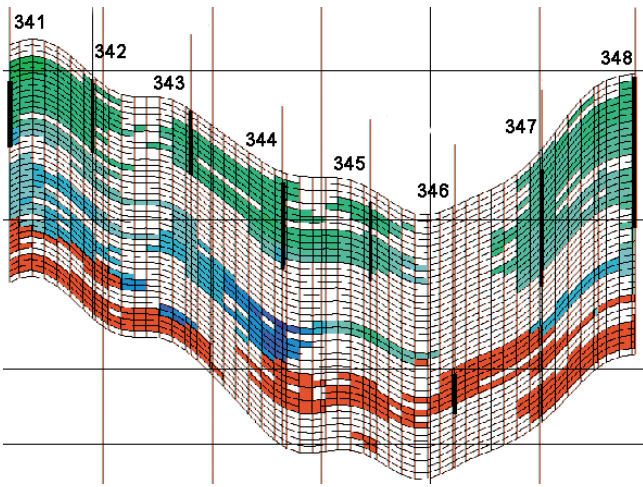


Рис. 1. Модель, построенная с постоянным шагом по Z.

используется коэффициент песчаности, то есть отношение эффективной к общей толщине для каждого выделенного слоя. При таком способе выбора сетки слои формируются геометрическим путём, т. е. прослеживанием по простиранию на расстояния, превышающее 300 – 500 и более м. Это приводит к грубым ошибкам, т. к. не учитываются основные законы слоеобразования, положение естественных геологических границ и литологический состав пород. На геометрическом принципе сделано построение геологической модели, принятое в большинстве программных комплексов. В качестве примера рассмотрим геологическую модель, выполненную в одном из программных комплексов. Модель построена в соответствии с требованием максимального измельчения сетки по Z, который принят постоянным, равным 0.2 м (Рис. 1).

Несмотря на применение детальной сетки в представленной модели границы слоёв не совпадают с границами геологических тел, которые наблюдаются в верхней и нижних частях единого пласта. Не совпадают между собой границы слоёв и пронизываемых интервалов. Явление несовпадения между собой литологических, стратиграфических,

петрофизических и палеонтологических границ пластов было отмечено ещё Н.А. Головкинским (Головкинский, 1868). Им было рекомендовано сопоставлять не границы интервалов со сходными литологическими типами пород, а стратиграфические, то есть временные границы, что снижает риск получения значительных ошибок при корреляции отложений и позволяет использовать комплексные критерии. Сам факт не совпадения между собой границ геологических тел, слоёв и пронизываемых интервалов в построенных геологических моделях связан с учётом генезиса отложений в используемых алгоритмах.

3. Модель геологических тел. Переход к математическим методам моделирования ознаменовался появлением старых ошибок, которые, казалось бы, давно описаны и исправлены. Так, использование равномерной геометрической сетки, вновь привела к снятию ограничения протяжённости слоёв. Если принять допущение, что слои не ограничены в пространстве, то мы вновь возвращаемся к модели «луковичных лепестков» Вегенера. Согласно этой модели слои не имеют границ и равномерно опоясывают всю поверхность земного шара, что подробно описано в работах (Салин 1979; 1983). Приходится искусственно вводить допущения, что размеры сеточной области ограничены размерами отдельных залежей (месторождений).

Нами предлагается использовать следующее определение модели геологических тел. Одними из первых работ в области моделирования, основанных на концепции модели геологических тел были работы (Булыгин, Булыгин, 1990; 1996), в которых отмечается, что каждый продуктивный пласт нефтяного месторождения представляет собой породно-слоевую ассоциацию, включающих несколько геологических тел. Каждое тело состоит из серии слоёв, имеющих форму линзы. В такой модели границы пронизываемых интервалов совпадают с границами геологических тел. Другое преимущество подобной модели – каждое геологическое тело может иметь собственные контуры нефтеносности и отметки ГНК, ГВК и ВНК. В основу построения модели положен генетический принцип, который заключается в построении сетки совпадающей с границами геологических тел. Этому принципу лучше всего соответствует слоистая модель, учитывающая факт образования большинства терригенных пластов в водной среде. Технология построения границ геологических тел включает два этапа.

На первом этапе осуществляют построение генерализованных поверхностей, поддерживающих заданную топологию, т.е. последовательность залегания геологических

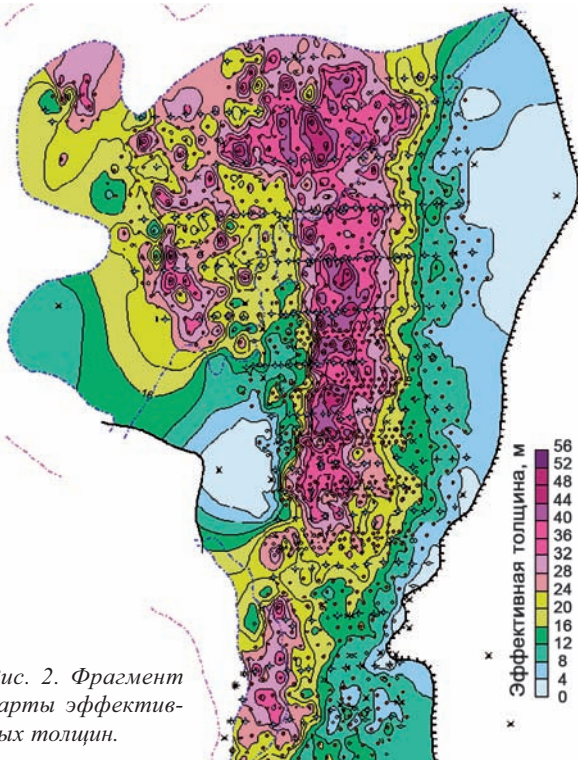


Рис. 2. Фрагмент карты эффективных толщин.

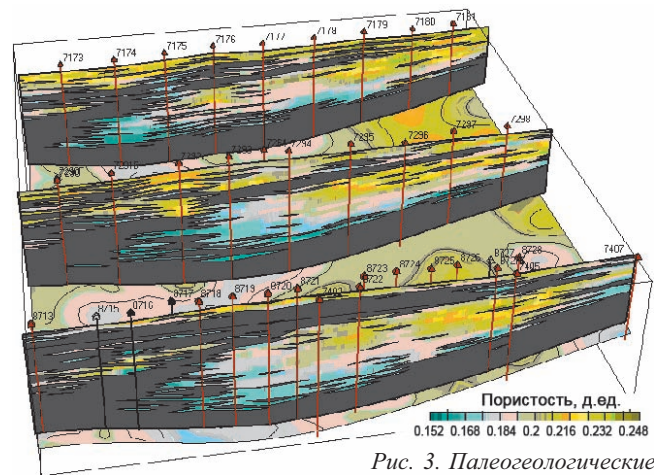


Рис. 3. Палеогеологические срезы трёхмерной геологической модели.

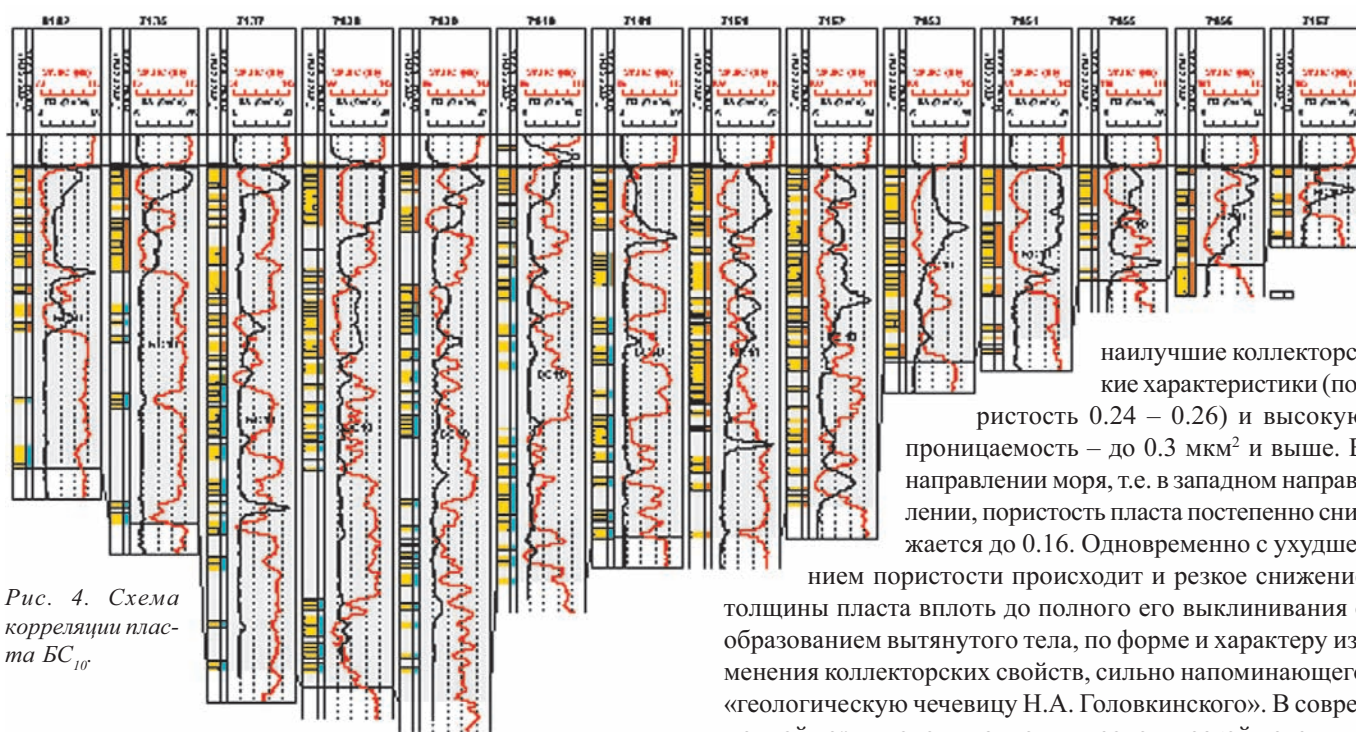


Рис. 4. Схема корреляции пласта BC_{10}

ких тел. По этой схеме строится модель всего осадочного чехла, то есть своеобразная структурная «этажерка». Основным является соблюдение обязательного условия – непересечения структурных поверхностей между собой. Грубая схематизация с соблюдением топологии, то есть с учётом взаимоотношений геологических тел между собой, строится для каждого горизонта в отдельности.

На втором этапе идёт детальная привязка проницаемых интервалов к выделенным границам. При этом, большое значение имеет учёт наклонного залегания слоёв относительно кровли пласта. Такой характер залегания может быть вызван существенным различием условий осадконакопления в пределах клиноформенной области и в областях примыкающих к ней со стороны суши (ундаформа) и моря (фондаформа) (Friedman et al., 1992). В частности формирование наклонных геологических тел могло происходить только в пределах клиноформенной области на некотором удалении от вытянутой береговой линии.

По карте эффективных толщин в пределах пласта выделяется линейно вытянутое погребённое осадочное тело, имеющее ориентировку с севера на юг (Рис. 2). Эффективная толщина пласта изменяется от нуля в зоне выклинивания пласта до 54 м в центральной части.

При более внимательном рассмотрении с помощью серии палеогеологических профилей, построенных в крест простирания (Рис. 3) можно видеть, что единое геологическое распадается, по крайней мере, на два обособленных осадочных образования. Первое залегает в кровельной части пласта и имеет высокую пористость, в среднем выше 0.21, и проницаемость не менее 0.16 мкм^2 . Оно имеет небольшую (3–4 м) толщину и площадной характер распространения. По-видимому, его образование можно связывать с условиями ундаформы. Далее залегает мощный пласт с переменной (до 25 и более м) толщиной.

С восточной части пласт ограничен линией выклинивания коллекторов, которую при палеогеологических реконструкциях можно принять в качестве древней береговой линией, вытянутой с севера на юг (Рис. 2). В области примыкающей к древней береговой линии пласт имеет

наилучшие коллекторские характеристики (пористость 0.24 – 0.26) и высокую проницаемость – до 0.3 мкм^2 и выше. В направлении моря, т.е. в западном направлении, пористость пласта постепенно снижается до 0.16. Одновременно с ухудшением пористости происходит и резкое снижение

толщины пласта вплоть до полного его выклинивания с образованием вытянутого тела, по форме и характеру изменения коллекторских свойств, сильно напоминающего «геологическую чечевицу Н.А. Головкинского». В современной терминологии синоним геологической чечевицы – парасеквинс. Анализ изменения значений пористости показывает, что можно выделить по крайней мере три обстановки осадконакопления, соответствующих различным величинам пористости. К древней береговой линии примыкает первая область, где происходило накопление осадков побережья. Во второй области накапливались отложения мелководья. Завершает строение геологического тела третья область, представленная низкопористыми, низкопроницаемыми отложениями, образовавшимися в глубоководных условиях. Образование описанного гетерофациального погребённого тела можно связывать с движением береговой линии и связанной с ним прогибанием дна бассейна в нижней части цикла и воздыманием – в верхней. Далее, к западу, в сторону открытого моря появляется новое геологическое тело (Рис. 2), что указывает на существование в пределах пласта BC_{10} нескольких трансгрессивно-регрессивных последовательностей. Как видно из схемы корреляции пласта BC_{10} (Рис. 4), также построенной в крест простирания осадочной структуры, отложения природного резервуара плохо дифференцированы по разрезу.

Несмотря на это, практически во всех скважинах можно наблюдать нижнюю часть ритма, представленную глинистыми песчаниками и верхнюю часть, сложенную отсортированными высокопористыми песчаниками. Плохая дифференциация разрезов, низкие коллекторские свойства в направлении моря, косослоистый характер залегания позволяет связать его генезис с

накоплением в условиях лавинной седиментации, когда

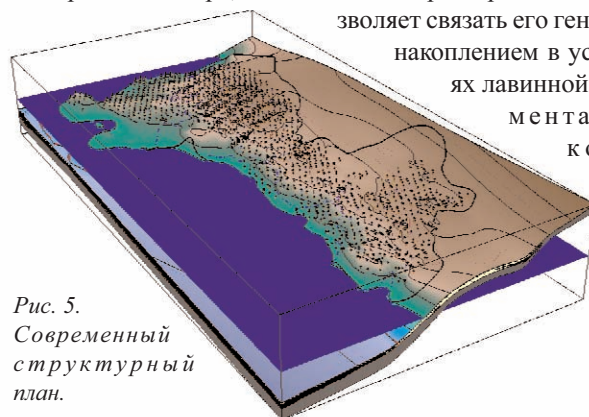


Рис. 5. Современный структурный план.

отсутствовала дробная осадочная дифференциация, а, следовательно, трудно выделить комплекс фаций – появилось противоречие. В отношении границ осадочных тел соблюдались общие закономерности, а более дробные тела – пропластки, приобрели форму линз, которые прослеживаются только на расстояниях, сопоставимых с расстояниями между скважинами.

Из данного материала, можно сделать вывод, что макромодель отражает полный трансгрессивно-регрессивный цикл терригенного осадконакопления. В зоне непосредственно примыкающей к линии замещения, где коэффициент расчленённости близок к единице, оба геологических тела, имеющих различный генезис, сливаются в одно. Отметим, что использовалась модель осадконакопления в режиме автоматической корреляции. Успешность выделения погребённых геологических тел в объёме природного резервуара в значительной степени зависит от принятой методики моделирования, которая может быть значительно усилена при использовании данных о генетических закономерностях и поверхностях трендов.

4. Моделирование геологического строения резервуара при построении структурной модели. Геологическая модель построена по результатам интерпретации фильтрационно-емкостных параметров по данным ГИС и принятым отбивкам пласта с учётом существующих на момент построения модели представлений о положении контуров нефтеносности, отметок ГНК и ВНК и величины начальных балансовых запасов нефти по залежи в целом и зонам насыщения. Слоистая модель позволила в составе отдельных горизонтов проследить и выделить обособленные геологические тела (пропластки, пачки и т.п.). Дальнейшее их изучение показало, что каждое геологическое тело может обладать собственными отметками ВНК и контурами нефтеносности.

При построении геологической модели для различных геологических тел были опробованы различные схемы залегания слоев: согласная от кровли, согласная от подошвы и пропорциональная. Была выбрана пропорциональная схема залегания, в которой выделенные слои пропорционально распределяются между кровлей и подошвой пласта. Детальность модели зависит также от количества слоёв по оси z. В приведенных примерах отстраивались 28 слоёв и 27 перемычек. Из приведённого на рис. 5 современного структурного плана пласта БС₁₀ и палео профилей (Рис. 3) можно сделать вывод о существовании приподнятой области вдоль всего восточного крыла современной залежи нефти.

Вдоль этой линии происходило преимущественное накопление осадков. С западной стороны залежь ограничена внешним контуром нефтеносности и поверхностью ВНК (показан синим цветом) и с востока линией выклинивания коллекторов, которая расположена в самой приподнятой части современной структуры. Отсюда можно сделать вывод об унаследованном характере развития территории и совпадении древних и современных структурных форм. Наиболее важной характеристикой моделируемых продуктивных пластов является геометрия осадочных тел, формирующих природный резервуар – породно-слоевую ассоциацию. Для успешного отображения морфологии осадочных тел была разработана технология, которая включает выделение и привязку геологических тел к реперным отметкам, которые используются для построения опор-

ных поверхностей. Их используют для построения наклонной сетки для каждого геологического тела отдельно. Расчёты сопровождаются формированием базы Данных с привязкой проекции системы координат на плоскости и сохранением поверхностей трендов для каждого из тел.

5. Концепция эффективного порового пространства. Благодаря развитию математических алгоритмов произошло повторное возвращение от генетических к чисто физическим признакам. В частности, это нашло своё отражение в широком использовании при геологических построениях технологии моделирования плоско-параллельного залегания слоёв. Развитием этих взглядов, способствовала, в частности, концепция эффективного порового пространства, предложенная С.Н. Закировым (Салин, 1983). Эта концепция заключается в том, что фильтрация осуществляется не по всему объёму пласта, а лишь по эффективной части порового пространства, не занятой связанной нефтью и водой. Кроме того, все гидродинамические расчёты проводятся с использованием нормированных функций относительных фазовых проницаемостей. Согласно этой концепции предлагается отказаться от понятий «коллектор» и «неколлектор» и заменить их физическими параметрами – пористостью, проницаемостью, объёмами связанной воды и нефти и др. Данной концепции практически полностью соответствует трёхмерная полномасштабная модель с геометрическим принципом выделения слоёв. Учёт генетических особенностей строения породно-слоевых ассоциаций позволяет резко повысить информативность геолого-гидродинамических моделей.

Литература

- Булыгин Д.В., Булыгин В.Я. Имитация разработки залежей нефти. М.: Недра. 1990. 224.
- Булыгин Д.В., Булыгин В.Я. Геология и имитация разработки залежей нефти. М.: Недра. 1996. 382.
- Головкинский Н.А. О пермской формации в центральной части Камско-Волжского бассейна. Санкт-петербург: Типография императорской академии наук. 1868. 143.
- Поиск, разведка и разработка месторождений углеводородного сырья. Национальный стандарт Российской Федерации. *Вестник ЦКР Роснедра*. №3. 2008. 36-66.
- Салин Ю.С. Конструктивная стратиграфия. М.: Наука. 1979. 157.
- Салин Ю.С. Стратиграфическая корреляция. М.: Недра. 1983. 173.
- Friedman G.M., Sanders J.E., Kopaska-Merkel D.C. Principles of sedimentary deposits. New York. 1992.

D.V. Buligin, R.R. Ganiev. **Modelling of geological bodies on the basis of the structural-genetic approach.**

In article it is offered to discuss a problem of increase of reliability of construction of geological models by perfection of a such technique with attraction of classical and new representations about facies, and on the basis of the structural-genetic approach.

Keywords: structural constructions, facies, modelling, a geological body.

Дмитрий Владимирович Булыгин

Д. г.-м. н., профессор, член корр. РАЕН, зам. ген. директора по научной работе ООО «Дельта Ойл Проект».

420111, Казань, Лобачевского, 10В. Тел.: (843)236-39-93.

Радик Рафкатович Ганиев

Зам. директора Института проблем экологии и недропользования Академии наук РТ.

420089, Казань, ул. Даурская, 28, Тел.: (843) 298-59-65.