

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Горбуновой Эллы Михайловны «**Реакция водонасыщенного коллектора на динамические воздействия**», представленную на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.6. – Гидрогеология и 1.6.9. – Геофизика

Диссертация Горбуновой Эллы Михайловны посвящена исследованию реакции водонасыщенного коллектора на динамические воздействия, к которым относится влияние атмосферного давления, земных приливов, удаленных землетрясений, крупномасштабных и массовых взрывов.

Актуальность проводимых исследований обусловлена приоритетным направлением деятельности по охране и оценке состояния недр на территориях, подверженных опасным природно-техногенным процессам. Месторождения подземных вод повсеместно используются для хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения городов, сел и предприятий. Одновременно с этим подземные воды извлекаются при разработке месторождений твердых полезных ископаемых, строительстве инженерно-технических сооружений различного типа. Соответственно интенсивная эксплуатация подземных вод выражается не только в формировании локальных и региональных депрессионных воронок, нарушении условий питания и разгрузки подземных вод, но может приводить и к необратимым последствиям – техногенным загрязнениям, изменениям несущих свойств грунтов и другим. В связи с этим организация и проведение высокоточных измерений уровня подземных вод и комплексный анализ результатов гидрогеологического мониторинга приобретают особую значимость в рамках контроля и оценки возможных изменений фильтрационных параметров водонасыщенных коллекторов.

Достоверность научных положений обеспечена:

- большим объемом экспериментальных данных, полученных за многолетний период проведения полевых работ на площадках Семипалатинского испытательного полигона, в пределах территории геофизической обсерватории ИДГ РАН «Михнево» и разрабатываемых железорудных месторождений;

- широким спектром используемых методов обработки данных от стандартной актуализации результатов геолого-геофизических и гидрогеологических работ, формирования баз данных ручных и высокоточных измерений до амплитудно-частотного

анализа гидрогеологических эффектов, зарегистрированных при прохождении сейсмических волн от удаленных землетрясений и промышленных взрывов.

Новизна научных положений заключается в:

- анализе взаимосвязи между изменениями физико-механических и фильтрационных свойств массива и гидрогеологической ситуацией, установленной при проведении крупномасштабных взрывов, фиксируемой по результатам обработки данных;
- определении эффективности высокоточного мониторинга уровня подземных вод в платформенном регионе;
- совместной интерпретации гидрогеологических эффектов, зарегистрированных от землетрясений и взрывов.

Установленные закономерности в диссертационной работе имеют **практическую значимость** и могут использоваться для контроля негативных последствий ведения техногенной деятельности. Представленные научно-методические основы дистанционного мониторинга фильтрационных свойств водонасыщенного коллектора могут оказаться востребованными при разработке месторождений с использованием взрывных технологий, закачке промышленных отходов, захоронении радиоактивных отходов и других.

Основные положения работы докладывались и обсуждались на многочисленных всероссийских и зарубежных конференциях и совещаниях. По теме диссертации опубликовано 87 работ (без учета тезисов конференций), в том числе 26 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 18 публикаций, проиндексированных в международных базах научных знаний Scopus, Web of Science, и 1 монографии (в соавторстве).

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и сопровождается 158 рисунками, 20 таблицами и списком использованной литературы из 248 наименований. Общий объем работы - 262 страницы.

Введение содержит требуемые ВАК РФ пункты, в том числе актуальность, научная новизна темы, цель и задачи исследования, положения, выносимые на защиту, и остальные. Диссертационная работа основана на экспериментальных материалах, полученных автором за 40-летний период исследований, проведенных на площадках Семипалатинского испытательного полигона (1983 - 1992 гг.), в пределах территории геофизической обсерватории «Михнево» (2001 - 2021) и разрабатываемых железорудных месторождений (2019 – 2021 гг.). Комплексный анализ экспериментальных данных основан на концепции блочно-иерархического строения земной коры, предложенной

академиком М.А. Садовским, которая придала важный импульс решению многих задач геофизики, гидрогеологии и горного дела.

В первой главе автором выполнен обзор опубликованных результатов исследований гидрогеологических откликов на динамические воздействия, зарегистрированных преимущественно с использованием высокоточных датчиков уровня. К основным направлениям проводимых исследований относятся:

- определение типа коллектора по гидрогеологическим откликам на вариации атмосферного давления и земные приливы;
- оценка фильтрационных свойств флюидонасыщенных массивов и зон динамического влияния разломов;
- определение возможного влияния сейсмических волн от землетрясений на проницаемость водонасыщенного коллектора в сейсмоактивных регионах.

Отмечено, что продолжительность изменения гидрогеодинамической обстановки может рассматриваться как один из критериев взаимосвязи между водоносным горизонтом и зоной наведенной трещиноватости, сформированной при крупномасштабных взрывах. Подобное длительное снижение уровня подземных вод также прослеживается в ближней зоне землетрясений и, вероятно, обусловлено заполнением зон наведенной трещиноватости. В промежуточной и дальней зоне прослежены косейсмические вариации уровня, реже – постсейсмические. Подробное описание результатов исследований, полученных за рубежом и в России, подтверждает высокую степень проработки опубликованных данных по теме диссертационной работы. Принципиальных замечаний у оппонента к этому разделу нет.

Во второй главе приведена методика исследования реакции водонасыщенного коллектора на квазистатические факторы (атмосферное давление, земные приливы) и периодические факторы (землетрясения, взрывы, водоотбор). Детально описан поэтапный методический подход к обработке сейсмических, гидрогеологических и барометрических данных, полученных при регистрации реакции подземных вод на воздействия разной интенсивности, от крупномасштабных и массовых взрывов до удаленных землетрясений. Во всех случаях проводится сопоставление значений, полученных до события и после для разных временных интервалов в зависимости от масштаба воздействия. Особое внимание уделено оценке фильтрационных параметров, которые могут быть рассчитаны по приливному анализу по результатам высокоточного гидрогеологического мониторинга, проводимого на территории геофизической обсерватории «Михнево» и в пределах разрабатываемых железорудных месторождений. На основании предложенного

комплексирования экспериментальных измерений и расчетных методов сформулировано первое защищаемое положение, а именно:

«Разработана методика дистанционной оценки фильтрационных свойств водонасыщенного коллектора, которая может применяться при анализе гидрогеологических эффектов, регистрируемых при взрывах и землетрясениях. Вариации уровня подземных вод используются в качестве индикатора естественных и техногенно-нарушенных условий массива горных пород. При прецизионном гидрогеологическом мониторинге, направленном на исследование фазового сдвига между приливной волной M_2 , выделенной в смещении грунта и уровнем водоносного горизонта, необходимо учитывать фоновые вариации уровня подземных вод, связанные с влиянием сезонных факторов и техногенным воздействием. Предложенный научно-методический подход использован при создании невозмущающего метода оценки негативных последствий динамических воздействий различной интенсивности».

Декларируемое автором защищаемое положение обосновано и подтверждено материалами, представленными во второй главе.

В третьей главе автором приведено описание геолого-структурных и гидрогеологических условий площадок исследований для последующего анализа последствий крупномасштабного техногенного воздействия на массив горных пород и влияния квазистационарных и периодических факторов на водонасыщенный коллектор соответственно. К природно-техногенным системам отнесены площадки «Балапан» и «Дегелен» Семипалатинского испытательного полигона (СИП), Коробковского и Лебединского железорудных месторождений Курской магнитной аномалии (КМА). Территория геофизической обсерватории «Михнево» рассматривается в качестве природной геосистемы, так как находится вне зоны активного техногенеза в пределах Московского артезианского бассейна (МАБ).

Необходимо отметить, что все рассматриваемые площадки, в пределах которых проводились наблюдения за реакцией подземных вод на динамические воздействия, расположены в различных структурно-формационных зонах. Северо-восточная часть площадки «Балапан» сложена герцинидами Зайсанского мегасинклинория, юго-западная часть - каледонидами Чингиз-Тарбагатайского мегантиклинория. Центральная часть площадки «Дегелен» находится в пределах Чингиз-Тарбагатайского мегантиклинория и представлена интрузивными образованиями верхнего палеозоя, прорывающими эффузивные и эффузивно-осадочные отложения нижнего карбона. Железорудные

месторождения КМА приурочены к Воронежскому массиву. Территория геофизической обсерватории «Михнево» расположена в пределах Московской синеклизы.

Особенности геологического строения и наличие серии региональных разломов разного ранга определяют сложные гидрогеологические условия площадок исследований, в пределах которых преимущественное развитие получают напорные и слабонапорные водоносные горизонты, развитые преимущественно в коллекторах трещинно-порового типа, ограниченно – в коллекторах порового и трещинного типов.

Четвертая глава посвящена анализу последствий крупномасштабного техногенного воздействия на массив горных пород. В трех ее разделах приводится детальное описание изученных зон необратимого деформирования, выделенных в пределах площадок «Балапан» и «Дегелен» СИП на дневной поверхности, в массиве горных пород и в зонах влияния разрывных нарушений, и исследуется реакция водонасыщенного коллектора на периодическое проведение крупномасштабных взрывов.

Необходимо отметить, что проведение взрывов в штольнях (горизонтальных горных выработках), пройденных в пределах площадки «Дегелен», привело к своеобразному «старению» местности, которое выразилось в разрушении гольцовых вершин, образованию глыбово-щебенистых осыпей, серий зияющих трещин, нарушений сплошности почвенно-растительного покрова и формированию воронок проседаний. Подобное увеличение площади водосбора привело к активизации водообмена, усилению нисходящей фильтрации и частичному переводу поверхностного стока в подземный. По результатам повторных гидрогеологических обследований было отмечено уменьшение числа сезонных и круглогодично действующих родников, смещение выходов родников и источников ручьев с сокращением общей протяженности поверхностных водотоков. Установленные изменения состояния массива горных пород и разрывных нарушений по результатам повторного обследования водопроявлений в штольнях и геологической документации подтверждены на поверхности данными мониторинга уровня подземных вод и расхода водопритоков на портале штолен. В результате специальных наблюдений за режимом подземных вод на площадке «Дегелен» при ряде крупномасштабных взрывов были зарегистрированы изменения гидрогеодинамической обстановки в виде вариаций расходов в родниках, на порталах штолен и уровней в скважинах.

Подобные нарушения гидрогеологической ситуации также установлены на площадке «Балапан» при проведении серии крупномасштабных взрывов в скважинах. Отмечено, что размеры области пространственно-временного перераспределения подземного потока зависят не только от параметров взрыва, но и от геолого-структурных

и гидрогеологических условий участка. Дренирование водоносных горизонтов происходит за счет формирования техногенной трещиноватости как в эпицентре взрыва, так и вдоль структурных границ раздела выветрелых и относительно монолитных пород. Постдинамическое снижение уровня подземных вод прослежено в зонах влияния разрывных нарушений и в пределах участков ранее проведенных взрывов.

На основании полученных результатов, приведенных в четвертой главе, автором сформулировано *второе защищаемое положение*:

«Область нарушения гидрогеодинамической обстановки в ближней зоне крупномасштабных взрывов и землетрясений определяется необратимыми изменениями физико-механических и фильтрационных свойств массива горных пород, которые установлены как в эпицентральной зоне, так и локально, на участках, приуроченных к структурным нарушениям (разломам, границам раздела выветрелых и относительно монолитных пород, литолого-стратиграфическим контактам и т.п.). Вариации основных параметров подземного потока, на порядок превышающие фоновые, подтверждают наличие гидравлической взаимосвязи водоносных горизонтов с зонами наведенной трещиноватости. Постепенное и/или скачкообразное изменение уровня с последующей стабилизацией режима подземных вод в зоне воздействий средней интенсивности (промежуточной зоне) при величине максимальной скорости смещения грунта (PGV)~1-100 см/с свидетельствует о локальном изменении фильтрационных свойств коллектора».

Декларируемое автором защищаемое положение обосновано и однозначно доказано материалами, представленными в четвертой главе. Следует отметить особую важность представленного к защите положения, так как полученные значения гидрогеологических параметров, которые свидетельствуют о необратимых изменениях в зонах влияния гидрогеологически активных разломов, могут быть использованы при выполнении расчетов по моделированию миграции радионуклидов с подземным потоком.

В пятой главе рассматривается влияние квазистационарных и периодических факторов на водонасыщенный коллектор. Для территории геофизической обсерватории «Михнево» (природная геосистема) и разрабатываемых железорудных месторождений КМА (природно-техногенная геосистема) выполнена оценка проницаемости коллектора на основе анализа фазового сдвига по полусуточной приливной волне лунного типа M_2 , выделенной в смещении грунта и вариациях уровня подземных вод. Определены значения максимальной скорости смещения грунта и амплитуда гидрогеологических откликов на удаленные землетрясения, прослеженные на территории «Михнево», и проведение

массовых взрывов в промышленном регионе. Зависимость гидрогеологических откликов от скорости смещения грунта, зарегистрированной при прохождении сейсмических волн от удаленных землетрясений и массовых взрывов, аппроксимируется степенной функцией.

Установлено, что вариации уровня подземных вод преимущественно синхронны изменению скорости смещения грунта от удаленных землетрясений. Экстремумы в вариациях уровня напорного и слабонапорного водоносных горизонтов на территории геофизической обсерватории «Михнево» проявляются как одновременно, так и с запаздыванием относительно вступления сейсмических волн. Отмечено, что в пределах разрабатываемых железорудных месторождений волновые формы и амплитудные спектры сейсмических сигналов и гидрогеологических откликов, зарегистрированных при массовых взрывах, различаются и зависят от неравномерности разработки массива горных пород, техногенно-нарушенного режима подземных вод и технологии проведения взрывных работ.

По результатам исследований автором сформулировано *третье защищаемое положение*:

«Пороупругая реакция водонасыщенного коллектора на динамическое воздействие в дальней зоне в платформенных условиях при максимальной скорости смещения грунта (PGV) менее 1 см/с проявляется в виде осцилляции уровня продолжительностью от первых секунд до первых десятков минут. В природной геосистеме на территории геофизической обсерватории ИДГ РАН «Михнево» косейсмические амплитуды уровня от 3 до 110 мм зарегистрированы при PGV от 0.4 до 4 мм/с. В пределах природно-техногенной геосистемы разрабатываемых железорудных месторождений КМА вариации давления в системе «пласт-скважина» при массовых взрывах изменяются от 13 кПа до 20 Па на приведенных расстояниях от 60 до 400 м/кг^{1/3} при PGV от 20 до 0.2 мм/с».

Декларируемое автором защищаемое положение подтверждено результатами измерений и обработки экспериментальных данных, представленных в пятой главе в виде сводных таблиц, графиков и диаграмм.

В шестой главе определены основные закономерности деформирования водонасыщенного коллектора. В первом разделе проведен детальный анализ изменения гидрогеодинамической обстановки на примере участков, расположенных в пределах площадки «Балапан» СИП, которые характеризуются высокой степенью изученности. Установлено, что остаточное снижение урвонной поверхности при проведении

крупномасштабных взрывов косвенно свидетельствует о необратимом изменении свойств водонасыщенного коллектора, которое заверено результатами сейсмического профилирования, геофизических исследований в скважинах и гидрогеологического опробования.

Во втором разделе анализ результатов прецизионных измерений, проводимых в наблюдательных скважинах, расположенных на территории геофизической обсерватории «Михнево» и в промышленном регионе в пределах разрабатываемых железорудных месторождений КМА, показал наличие как динамических, так и постсейсмических эффектов. Динамические воздействия низкочастотных поверхностных колебаний от удаленных землетрясений и высокочастотных - от массовых взрывов могут рассматриваться в качестве одного из факторов, соответствующих локальному квазиобратимому изменению структуры трещинно-порового пространства и/или порового давления соответственно.

По результатам исследований, приведенных в первом и втором разделах шестой главы и пятой главе, автором сформулировано *четвертое защищаемое положение*:

«Зависимость амплитуды вариаций гидрогеологических откликов от параметра PGV при сейсмическом действии взрывов и землетрясений имеет степенной характер. Основанная на анализе амплитудно-частотных параметров системы «пласт-скважина» типизация гидрогеологических эффектов, регистрируемых в дальней, промежуточной и ближней зонах, соответствует пороупругому, квазиобратимому и необратимому изменению порово-трещинного пространства водонасыщенного коллектора».

Декларируемое автором защищаемое положение обосновано материалами, представленными в пятой и шестой главах диссертационной работы.

В третьем разделе шестой главы рассмотрена феноменологическая модель реакции водонасыщенного коллектора на взрывы и землетрясения, которая проявляется на макро-, мезо- и микроуровне в соответствующих зонах и согласуется с предположением о подобии процессов деформирования геофизической среды при сейсмическом воздействии. Влияние атмосферного давления и земных приливов на вариации уровня подземных вод может рассматриваться в качестве зондирующего сигнала для определения фоновых значений фильтрационных параметров водонасыщенного коллектора, соответствующих пороупругой реакции на квазистатическое динамическое воздействие. Значения массовой скорости смещения грунта и рассчитанные значения плотности сейсмической энергии используются для оценки интенсивности сейсмического воздействия на массив горных пород.

Упругому, квазиобратимому и необратимому изменению порово-трещинного пространства водонасыщенного коллектора соответствуют разные типы гидрогеологических эффектов. В широком диапазоне параметров установлена степенная зависимость амплитуд максимальных вариаций уровня подземных вод от величины максимальной скорости смещения грунта (PGV). В ближней зоне крупномасштабных взрывов и землетрясений при $PGV > \sim 100$ см/с необратимые изменения физико-механических и фильтрационных свойств массива горных пород определяют область нарушения гидрогеодинамической обстановки. В промежуточной зоне $PGV \sim 1-100$ см/с локальное нарушение структуры порово-трещинного пространства приводит к квазиобратимому деформированию коллектора, которое проявляется в виде постепенного и/или скачкообразного подъема/снижения уровня с последующей стабилизацией режима подземных вод. В дальней зоне $PGV < \sim 1$ см/с регистрируются осцилляции уровня продолжительностью от первых секунд до первых десятков минут.

По результатам исследований, приведенных в третьем разделе шестой главы, автором сформулировано *пятое защищаемое положение*:

«Предложенная феноменологическая модель реакции водонасыщенного коллектора на сейсмическое воздействие учитывает подобие и типизацию гидрогеологических откликов, выделенных при взрывах и землетрясениях, и может быть использована для ранжирования территории на ближнюю, промежуточную и дальнюю зоны. Прослеженную взаимосвязь между режимом деформирования коллектора и установленными гидрогеологическими эффектами следует учитывать при взаимодействии сооружений высокого уровня ответственности (АЭС, ускорителей, объектов захоронения РАО и др.) с геологической средой».

Декларируемое автором защищаемое положение подтверждено экспериментальными данными, зарегистрированными при проведении крупномасштабных взрывов и прохождении сейсмических волн от землетрясений и массовых взрывов.

В Заключении автором сделаны основные выводы по работе и приведены полученные результаты, среди которых следует выделить особо значимые:

- определение диапазона фоновых вариаций проницаемости водонасыщенных коллекторов порового и трещинно-пластового типов на основе применения оригинального подхода к обработке исходных данных;

- соответствие реакции подземных вод МАБ динамике деформирования водонасыщенного коллектора при прохождении сейсмических волн от удаленных землетрясений;

- новые данные по реакции водонасыщенных коллекторов порового и трещинно-пластового типов на проведение массовых взрывов при разработке железорудных месторождений КМА;

- различие реакции коллекторов трещинно-порового и порового типа на динамическое воздействие и определение диапазонов динамического деформирования различных типов коллекторов при прохождении сейсмических волн от землетрясений и массовых взрывов;

- разработанную феноменологическую модель реакции водонасыщенного коллектора на сейсмическое воздействие от крупномасштабных взрывов, произведенных на площадках СИП, массовых взрывов, связанных с процессом разработки железорудных месторождений КМА, и удаленных землетрясений.

Замечания

1. По структуре работы на взгляд рецензента логичней было бы 2 и 3 главы поменять местами. Вероятно, описание геолого-структурных и гидрогеологических условий площадок исследований лучше привести ранее, а затем излагать обоснование научно - методических подходов, разрабатываемых с использованием этого материала.

2. На рис. 3 (автореферата) «Вариации уровня подземных вод на территории площадки «Заречье» (на вставке – пьезометрическая поверхность до взрыва (а) и через день после ПЯВ 1388 (б), рассчитанная с использованием пакета MODFLOW)» по непонятным причинам положение пьезометрической поверхности до взрыва (очевидно, полученное по результатам замеров уровня) сравнивается не с фактическими данными, а с результатами численного моделирования, что никак нельзя считать убедительно правильным сопоставлением. Точность результатов моделирования и возможные погрешности сеточного решения прогнозной геофильтрационной задачи не представлены и не обсуждаются. В этой связи некоторые картографические материалы (рис. 4.17 и рис. 4.27 диссертации или рис. 2 и 4 автореферата) представлены в излишне схематическом виде, где не видно, что в непосредственной близости от участка исследований располагаются поверхностные водные объекты, гидродинамическая связь которых с подземными водами, вероятно, не включена в схематизацию гидрогеологических условий.

3. В главе 2, посвященной методике исследований, отсутствует информация по проверке аппаратурно-измерительного комплекса. Необходимо учитывать, что любой

датчик в соответствии с паспортными характеристиками подлежит контрольной поверке в соответствующих центрах диагностики аппаратуры.

4. В диссертационной работе имеются некоторые не корректные формулировки отдельных предложений, к примеру:

- на стр.127 отмечено «...полученные данные по продолжительности дренирования подземных вод депрессионными воронками, сформированными при взрывах, привлечены для оценки основных гидрогеологических параметров». Правильнее было бы указать «...полученные данные по продолжительности формирования депрессионных воронок при взрывах привлечены для оценки основных гидрогеологических параметров»;

- на стр. 219 «В частности, при рассмотрении гидрогеологических откликов на проведение разных взрывов в одной и той же скважине выдерживается степенная зависимость от приведенного расстояния и массовой скорости смещения грунта». Правильнее было бы отметить «В частности, при рассмотрении гидрогеологических откликов в одной и той же скважине на проведение взрывов на разных эпицентральных расстояниях выдерживается степенная зависимость от приведенного расстояния и массовой скорости смещения грунта»;

- на стр. 222 «Гидрогеологические отклики в виде косейсмических и постсейсмических эффектов, прослеженные в дальней зоне природно-техногенной и природной геосистемах...». Правильнее было бы указать «Гидрогеологические отклики в виде косейсмических и постсейсмических эффектов, прослеженные в природно-техногенной и природной геосистемах, которые соотнесены с дальней зоной...».


5. Автореферат предпочтительнее структурировать по принципу обоснования «защищаемых положений», так как в этом случае автор может более четко систематизировать и представлять полученные результаты, но это не является обязательным положением.

Указанные замечания не снижают достоинств и значимости диссертационной работы, которая посвящена актуальной теме – исследованию реакции водонасыщенного коллектора на динамические воздействия и является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком уровне. Работа, безусловно, имеет большое практическое значение и вносит значительный вклад в решение проблемы мониторинга негативных последствий ведения техногенной деятельности.

Диссертационная работа и автореферат логически построены и выдержаны в научном стиле. Содержание автореферата полностью отражает основные идеи и выводы

диссертации, содержит необходимый и достаточный материал для оценки научного и прикладного значения работы.

Вышеизложенное позволяет заключить, что диссертационная работа «Реакция водонасыщенного коллектора на динамические воздействия» соответствует критериям, установленным п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (утвержденного постановлением № 842 Правительства РФ от 24 сентября 2013 г., с изменениями от 21 апреля 2016 г. «О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней») для ученой степени доктора наук, а ее автор - Горбунова Элла Михайловна заслуживает присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.6. Гидрогеология и 1.6.9. Геофизика.

Официальный оппонент,
профессор Отделения геологии,
Инженерной школы природных ресурсов ТПУ,
доктор геолого-минералогических наук
по специальности 25.00.07 «Гидрогеология», профессор  Е.М. Дутова

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», 634050, Россия, г. Томск, проспект Ленина, дом 30,
тел.: +8 (913) 828-88-95; e-mail: Dutova@tpu.ru

Я, Е.М. Дутова, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, их дальнейшую обработку и передачу в соответствии с требованиями Минобрнауки России.

« 08 » июня 2022 г.

Подпись Е.М. Дутовой удостоверено
Ученый секретарь ТПУ



 Е.А. Кулич