

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Валентины Борисовны Сваловой
«Геоэкологические аспекты геодинамических процессов в литосфере»,
представленной на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических
наук по специальности 1.6.21. – Геоэкология

Диссертационная работа В.Б. Сваловой направлена на решение важнейшей задачи, целью которой является повышение уровня безопасности населения и сохранности инфраструктуры территорий, подверженных воздействию опасных природных процессов и явлений. Прогноз и предупреждение стихийных бедствий и катастроф, обусловленных активизацией этих процессов, является одной из насущных научных проблем, требующих разработки новых методологических подходов к исследованию представляющих угрозу геологических процессов. Построение геодинамических моделей для регионов развития опасных природных процессов является важным звеном в познании глубинной геодинамики в ее многочисленных (в том числе – опасных для жизнедеятельности населения) проявлениях, необходимым аспектом оценки геоэкологических рисков и подготовки действий населения на случай природных бедствий и катастроф.

Диссертация представляет объемный труд (367 стр.), включающий введение, шесть глав, заключение и список литературы (295 наименований). В общий объем входят 134 рисунка, 15 таблиц (не считая приложений) и 2 приложения. Также приведен список специальных терминов, применяемых автором в процессе изложения материала.

Введение к диссертации содержит общую характеристику исследования, которая дана в соответствии с принятой для квалификационных работ рубрикацией: актуальность, степень разработанности темы, цели и задачи исследований, объект, предмет и научная новизна исследований, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, степень достоверности и апробация результатов. Здесь же сформулировано шесть основных положений, которые автор диссертации выносит на защиту.

Актуальность темы исследования определяется тем, что уровни ущерба и количества жертв среди населения от землетрясений, извержений вулканов, оползней, селей, лавин, наводнений, штормов, ураганов, цунами и других опасных природных процессов и явлений со временем не только не уменьшаются, но, как отмечено В.Б.Сваловой, имеют устойчивую тенденцию к возрастанию. За последние двадцать лет в катастрофах и стихийных бедствиях в мире погибло свыше 3 млн. и пострадало более 800 млн. человек. Эта тенденция проявляется как на глобальном, так и на региональном уровнях. При этом на глобальном уровне существует реальная угроза существенного роста негативных экономических последствий от стихийных бедствий и катастроф. В этой связи возрастает роль фундаментальной и прикладной науки, призванной на более глубоком научном уровне развивать и разрабатывать новые направления и подходы к решению задач теории безопасности и прикладных методов анализа и управления риском опасных природно-техногенных процессов, чрезвычайных ситуаций, стихийных бедствий и катастроф. Одним из видов научной деятельности в этом направлении является углубленный анализ опасных природных процессов на основе разработки теории формирования и эволюции геологических структур, теории геодинамической и тектонической опасности и риска (риск-анализа) и развития методов оценки и управления геоэкологическим риском (риск-менеджмента).

Целью исследования является разработка комплексной методологии оценки и управления геоэкологическим риском на основе механико-математического моделирования формирования и эволюции геологических структур. Реализация цели осуществлялась В.Б. Сваловой путем решения комплекса задач:

1. Разработка комплексного подхода к изучению геодинамики литосферы и геоэкологического риска на базе механико-математического моделирования формирования

и эволюции геологических структур по схеме: геодинамика литосферы – геодинамические процессы – геодинамическая опасность – опасные природные процессы – оценка природных опасностей – оценка и управление риском.

2. Создание механико-математической модели решения прямых и обратных задач геодинамики – восстановление полей скоростей, давлений и напряжений на глубине литосферы по имеющимся данным о скоростях на дневной поверхности и определение движения границ на глубине литосферы по заданным движениям дневной поверхности.

3. Разработка механико-математических моделей формирования и эволюции геологических структур с целью анализа геодинамической опасности регионов и отдельных территорий.

4. Выделение основных определяющих параметров геоэкологического риска для территорий различного масштаба: края, области, регионы и геологические обстановки.

5. Разработка унифицированной методики оценки ожидаемого геоэкологического риска отдельных и интегральных опасных природных процессов.

Научная новизна работы состоит в совместном решении проблем риск-анализа, управления природным риском и проблем формирования и эволюции геологических структур с целью анализа геодинамической и природной опасности. Автором разработана методика унифицированной оценки геоэкологического риска. На основе концепций плюм- и плит-тектоники обоснованы модели формирования и эволюции геологических структур в обстановках подъема мантийных диапиров на фоне коллизии литосферных плит.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в разработке новых подходов при исследовании обстановок формирования и эволюции геологических структур на основе механико-математического моделирования с целью анализа развития и активизации опасных природных процессов, стихийных бедствий и катастроф, а также их прогноза, предупреждения и управления риском на основе концепции геодинамической опасности в виде унифицированной количественной оценки и управления геоэкологическим риском.

Представленные результаты научных разработок получены автором самостоятельно. В совместных работах автору, как правило, принадлежит математическая часть и вопросы моделирования.

По теме диссертации опубликовано 310 научных работ, в том числе 21 статья в журналах из перечня ВАК и 11 статей из международных баз данных Web of Science и SCOPUS, монография; под редакцией В.Б. Сваловой изданы 4 коллективные монографии.

Основное содержание работы

В первой главе анализируются природные опасности, стихийные бедствия и катастрофы, которые по природе их происхождения автор подразделяет на группы: геологические, гидрометеорологические, климатологические, космические, биологические, а по масштабам проявления – на одиночные, множественные, региональные, глобальные, космические. На картах и диаграммах приведены обширные статистические данные о пространственно-временных особенностях проявления различных стихийных бедствий на территории Российской Федерации и на земном шаре (годовое количество природных бедствий, связанных с природными явлениями, отдельно – количество наводнений, землетрясений, вулканической активности, оползней и т.п.), а также – об ущербе, обусловленном этими бедствиями (число пострадавших, экономический ущерб и проч.). Автор исходит из того, что комбинируя карты природных опасностей и рисков и карты, отражающие геодинамику литосферы, можно установить их прямую связь и взаимозависимость. Так, по мнению В.Б. Сваловой, карта активных разломов земной коры отражает напряженно-деформированное состояние литосферы, связанное с различными видами движения и природной опасности. В результате этих сопоставлений сделан вывод о том, что геодинамика определяет уровень и особенности протекания геоэкологических процессов, и, следовательно, построение геодинамических

моделей для регионов развития опасных природных процессов с целью прогноза и предупреждения стихийных бедствий и катастроф значительно повышает степень надежности прогнозных исследований.

Приведенные данные послужили основанием для формулирования *первого защищаемого положения* в виде концепции об определяющей взаимосвязи геодинамической опасности и геоэкологического риска. Согласно этой концепции, геодинамическая опасность – это опасность, обусловленная движением вещества в литосфере или изменениями напряженно-деформированного состояния геологической среды. Геоэкологический риск опосредованно рассматривается как вероятностная мера геодинамической опасности.

Безусловно, правильное по своей сути положение, выглядело бы менее декларативно и более обоснованно, если бы автор на примерах показал, какие именно факторы (и численные значения их параметров) тектонической и геодинамической активности литосферы коррелируются с видами и параметрами стихийных бедствий и катастроф, определяющими уровни геодинамической опасности и, соответственно, степени геоэкологического риска.

Также отметим повторяющиеся (на стр. 41 и 45) фрагменты текста.

Во второй главе приводятся результаты сравнительного анализа геодинамики и геотермии Альпийского и Тихоокеанского поясов, которые трассируют границы литосферных плит, характеризующиеся активными движениями и повышенным напряженно-деформированным состоянием геологической среды. Мантийный диапиризм, по мнению автора, вносит существенный вклад в процесс формирования новообразованных впадин Альпийского и Тихоокеанского поясов и окружающих их складчато-покровных структур, являясь следствием инверсии плотности в системе астеносфера-литосфера. В.Б. Свалова полагает, что такая инверсия становится движущей силой в тектоносфере на фоне сближения Африки с Евразией в Средиземноморье и Тихоокеанской и Евразийской плит в Тихоокеанском поясе. В развитие этого положения и с целью объяснения особенностей происхождения и эволюции этих структур автором выполнено механико-математическое моделирование формирования и эволюции геологической среды над поднимающимся мантийным диапиром. Моделирование проведено на основе приближенного решения уравнения Навье-Стокса для вязкой несжимаемой жидкости и применения методов разложения по малому параметру, сращиваемых асимптотических разложений, последовательных приближений и приближения тонкого слоя. При этом рассматривается два сценария формирования и эволюции геологических структур: без латерального ограничения движения масс и с латеральными ограничениями для раздвига. В первом случае результаты моделирования, по мнению автора, отражают ранние стадии развития структур, когда выпуклости поверхности плюма соответствует подъем поверхности фундамента, во втором – характеризуют смену режима сводового поднятия обстановкой формирования глубоководной впадины (по типу Альборанского, Тирренского и Эгейского морей, а также Паннонской впадины). Результаты механико-математического моделирования получили отражение *во втором защищаемом положении*, согласно которому в процессе эволюции литосферы над поднимающимся астеносферным диапиром при однонаправленном движении на дневной поверхности сначала формируется структура сводового поднятия, а затем – глубокая депрессия.

Следует отметить, что при анализе геодинамики Альпийского и Тихоокеанского поясов процессам мантийного (астеносферного) диапиризма В.Б. Сваловой отводится ведущая роль. На наш взгляд, подобное утверждение не отражает всего многообразия геодинамических процессов. Здесь на первый план выходит проблема причин и следствий геодинамических процессов. В частности, в каких случаях мантийный диапиризм обуславливает формирование задуговых бассейнов, сопровождаясь раздвигом земной коры и формированием рифтогенных структур, а в каких обстановках сам процесс формирования диапиров обусловлен раздвигом земной коры, являясь не причиной, а

следствием этого раздвига (например, при формировании спрединговых зон окраинных морей в пределах активных окраин)?

В связи с тем, что землетрясения в горных регионах являются одним из наиболее опасных источников развития опасных геозеологических процессов и причиной катастроф, на наш взгляд, недостаточно внимания уделено вопросам анализа сейсмической опасности и риска территории.

Вряд ли можно считать удачным использование термина «апвеллинг» применительно к процессам мантийного диапиризма (с. 53), поскольку этот термин отражает чисто океанографическое явление – перемещение плотной, более холодной и богатой питательными веществами воды из глубоких горизонтов океана к его поверхности.

В третьей главе приведены результаты анализа данных по геотермии, сейсмичности и глубинной геодинамике Кавказского региона с целью решения обратной задачи геодинамики. Выбор региона исследований обусловлен его сложной высоконапряженной геодинамической структурой, повышенным тепловым потоком, высокой сейсмичностью, магматизмом и вулканизмом.

На основе использования асимптотических методов В.Б. Сваловой предложен прямой метод решения обратной задачи геодинамики, когда использование надежных геолого-геофизических данных и скоростей на поверхности дает возможность определять характер движения вещества и распределение напряжений на глубине литосферы. Приведены примеры решения 4-х задач для структур в разных геодинамических (по сути – кинематических) обстановках – для осадочных бассейнов и орогенов, формирующихся как в условиях растяжения, так и в обстановках сжатия. Анализ этих решений позволил автору сделать утверждение о том, что «осадочный бассейн в условиях растяжения и ороген в условиях сжатия являются более стабильными и вероятными структурами, чем бассейн при сжатии и ороген при растяжении, ... что говорит о корректности модели и возможности ее дальнейшего развития и применения» (стр. 82).

Разработанная автором механико-математическая модель решения обратной задачи геодинамики прямым методом, а также применение этой модели при решении обратных задач геодинамики (определение полей скоростей, давлений и напряжений на глубине литосферы по данным о скоростях на дневной поверхности, определение движения границ на глубине литосферы по заданным движениям дневной поверхности) составили *третье защищаемое положение*. Результаты их применения нашли воплощение в виде схематического разреза Кавказского региона, составленного на основе механико-математического моделирования (рис 3.9 на стр. 83), на котором отражены возможные направления движения вещества на разных глубинах в пределах основных геоструктурных элементов региона.

В качестве замечания к данному разделу отметим, что вполне логичное привнесение автором в решение 4-х вышеупомянутых задач таких параметров, как геодинамические обстановки сжатия и растяжения при задании первичных условий формирования осадочных бассейнов и орогенов, входит в противоречие с утверждением автора о том, что «ситуацию можно сравнить с развитием задугового спрединга, когда горячий мантийный диапир прорывается сквозь литосферу к земной поверхности и формирует задуговой бассейн» (стр. 74). То есть, мы снова обращаемся к проблеме о том, что в данном процессе является причиной, а что следствием.

Не совсем понятно, что автор иллюстрирует «Схематической картой Кавказского региона» (рис. 3.10 на стр. 84).

Четвертая глава диссертационного исследования посвящена анализу геотермического и гравитационного полей Прикаспийской впадины и восточного сегмента Кавказского региона с целью использования этих данных для построения термогравиметрической модели литосферы и астеносферы осадочного бассейна, позволяющей количественно оценить подъем астеносферного диапира. Для определения

толщины литосферы исследуемой территории В.Б. Сваловой разработана модель многослойной сплошной среды, описывающей в упрощенном виде строение осадочного чехла, консолидированной коры и верхней мантии. Определены критические параметры, связывающие динамику мантийных движений с эволюцией рельефа поверхности.

Термогравиметрическая модель включает две основные составляющие (модели): геотермическую, которая определяет абсолютные значения толщины литосферы, и гравиметрическую, отражающую ее относительные изменения. Обе модели допускают дальнейшее уточнение и детализацию, увеличение числа слоев, усложнение теплофизических и геофизических характеристик слоев, учет региональных гравитационных и геотермических аномалий.

В итоге автором разработана самосогласованная термогравиметрическая модель литосферы и астеносферы осадочного бассейна, предложенная в качестве *четвертого защищаемого положения*. Основные результаты моделирования представлены в виде схематического разреза литосферы Прикаспийской впадины и прилегающей части Восточно-Европейской платформы (рис. 4.8, стр. 99). В тексте приведены полученные количественные параметры литосферы Прикаспийской впадины: толщина ее в центре структуры составляет порядка 110 км и для прилегающей части платформы – около 180 км, т.е. подъем астеносферы под впадиной составляет около 70 км по сравнению с окружающими регионами.

На рис. 4.8 недостает вертикального (по оси Z) масштаба, позволяющего сопоставить данные, приведенные в текстовой части и на итоговом разрезе.

Также отметим, что в подрисуночной подписи к рис. 4.1 на стр. 88 «Тектоническая карта Каспийского моря. Фундамент платформенных областей» Южно-Каспийская впадина отнесена к структурам с корой океанического типа (знак 8 условных обозначений). Хотя тут же в тексте отмечается, что «Прикаспийская и Южно-Каспийская впадины являются глубокими осадочными бассейнами с толщиной осадочного чехла более 20 км ...» (стр. 89). Как известно, кора океанического типа характеризуется мощностью 5-7 км и полным отсутствием «гранитного» слоя, тогда как впадины, аналогичные Южно-Каспийской (например, Западно- и Восточно-Черноморские) отнесены к категории структур с редуцированной корой субокеанического типа.

В пятой главе рассматриваются разные аспекты геоэкологической опасности оползневой процесс и результаты механико-математического моделирования гравитационного движения масс по оползневому склону.

Процесс моделирования предваряется замечанием автора о том, что для разного вида оползней и на разных стадиях развития оползневой процесс может описываться различными механическими и реологическими моделями. Если на стадии образования трещин откола, потери устойчивости, отрыва блоков применяются модели упругой среды и модели разрушения, то в процессе медленного движения пород по склону может применяться модель высоковязкой несжимаемой жидкости. Граничные условия задачи при этом также зависят от конкретной ситуации. Так, в случае медленного движения на нижней границе слоя используется условие прилипания. Выбор адекватной модели процесса и постановка начальных и граничных условий является самостоятельной механической задачей.

Соответственно, автором была выбрана механико-математическая модель гравитационного движения масс по оползневому склону на основе уравнения Навье-Стокса для вязкой несжимаемой жидкости, предложенная в качестве *пятого защищаемого положения*, и найдены критические параметры задачи смены режимов движения с выделением потенциальных областей мониторинга.

Отметим, что, вопреки утверждению автора о том, что «... обычно этот термин (оползень – Ю.В.) используется для обозначения всех типов гравитационного движения пород, включая осыпи, обвалы, камнепады, ползучесть, крип, течение, скольжение и другие сложные движения» (стр. 103), в отечественной литературе это понятие является

более конкретным и характеризует, как правило, процессы перемещения грунтовых масс (объем которых не распадается, а остается единым целым) по поверхности скольжения без потери контакта с несмещаемым ложем. Собственно, и выбранная В.Б. Сваловой механико-математическая модель гравитационного движения масс по оползневому склону удовлетворяет именно этому определению. Автор и сам утверждает, что для обозначения всех ранее перечисленных типов движений правильным определением является термин «движение масс», а в таблице 1.3 на стр. 39 (Классификация основных опасных геозкологических процессов ...) указано, что некоторые из этих явлений, описываемых в данной главе (сели, лавины, цунами, тайфуны и т.п.), формируются не в литосфере, а в гидросфере. В контексте сказанного представляется, что некоторые подразделы пятой главы, содержание которых не связано непосредственным образом с научной проблемой механико-математического моделирования гравитационного движения масс по оползневому склону, излишне перегружают диссертационную работу.

Шестая глава диссертационной работы, на наш взгляд, является наиболее информативной и значимой как в научно-методологическом плане, так и в практическом отношении. Она посвящена исследованию рисков опасных геозкологических процессов для разных территорий и концепции управления риском. Последняя включает моделирование геологической среды и происходящих в ней процессов, анализ и оценку риска, а также экологический мониторинг. Приведен алгоритм практической реализации концепции управления риском, включающий идентификацию опасности, оценку уязвимости, анализ и оценку рисков, обоснование уровня приемлемого риска, картографирование рисков и комплексные меры по снижению риска. Управление риском рассматривается как система мер, ведущих к снижению риска.

В первой части главы В.Б. Сваловой проанализированы различные подходы к оценке риска как величины, производной от уровня влияния опасных процессов, уязвимости и степени ущерба для территорий, а также обоснован общий подход к оценке геозкологического риска как для отдельного риска от определенной опасности, так и для интегрального риска. Второй случай предполагает учет параметров всех составляющих интегрального риска с определением весовой оценки вклада каждого параметра в процесс, в том числе, с использованием метода анализа иерархий Т. Саати.

Второй подраздел главы охватывает проблемы оценки геозкологического риска и проблемы устойчивого развития горных территорий. В общем виде автором рассмотрены опасные природные процессы, стихийные бедствия и катастрофы горных территорий. Отмечено, что в отличие от равнинных территорий, где наибольшей природной опасностью являются наводнения, для горных местностей наибольшую опасность представляют землетрясения, которые могут послужить триггерами для оползневых процессов, селей, обвалов, осыпей. Здесь же проанализированы риски, обусловленные опасными природными процессами (сейсмичностью, активизацией оползней, наводнениями) для Кавказского региона, выполнена оценка весовых параметров и интегрального геозкологического риска территории на основе метода сравнения иерархий Саати и методики риск-анализа унифицированной оценки, картографирования дифференцированного и интегрального геозкологического риска. Для ранжирования территории по степени интегрального геозкологического риска автором введены понятия «горячей полосы» Кавказа и «горячих пятен» Кавказа. Результаты анализа получили воплощение в виде карты (рис. 6.8а на стр. 157), на которой показаны районы горячей полосы Кавказа по степени геозкологического риска, горячие пятна 1-го и 2-го рангов.

В заключительных частях шестой главы В.Б. Сваловой приведены результаты анализа и оценки оползневого риска урбанизированных территорий на примере территории Москвы, а также геозкологического риска опасных природных процессов в пределах Московской области, составившие (наряду с оценкой геозкологического риска для горных территорий Кавказа) содержание *шестого защищаемого положения*. В первом случае применение методики построения карты оползневого риска для территории

Москвы (на основе суперпозиции карт оползневой опасности и интегральной карты возможного ущерба) позволило выделить в пределах Москвы «горячие пятна» 1-го и 2-го классов по степени оползневого риска, что дает ключ к решению проблемы управления оползневым риском и назначению мер по снижению оползневого риска, включая мониторинг, противооползневые мероприятия, прогноз, страхование и др. Во втором случае при формализации интегральной оценки природной опасности рассматриваются 5 видов природной опасности (оползни, карст и суффозия, подтопление и наводнения, тектонические, метеорологические опасности). При комплексной оценке ущерба учитывались плотность населения, плотность дорог и коммуникаций, плотность застройки и иные факторы. Максимальные (по отношению к другим районам Московской области) оценки риска были получены для Люберецкого района, который автором рассматривается как «горячее пятно» первого класса по уровню геоэкологического риска на территории Московской области. Таким образом, автором разработана концепция и методика унификации, формализации и цифровизации оценки и картографирования природно-экологического риска на базе общей платформы управления риском и выявления определяющих параметров природной опасности для различных видов опасности, территорий и природно-техногенных условий, а также интегрального геоэкологического риска.

В качестве замечаний к этой части диссертации следует отметить чрезмерную ее перегруженность иллюстрационным материалом. Кроме того, фраза «...выраженный в деньгах ущерб от потери человеческих жизней» (с. 132) звучит, мягко говоря, слишком прагматично, если не сказать – не гуманно.

Приведенная на рис. 6.3 (стр. 144) карта общего сейсмического районирования за 2007, в связи с внесением изменений в Свод правил СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*», могла утратить актуальность вследствие возможного изменения оценок сейсмической опасности для территории Кавказа.

В Заключение приводятся теоретические и эмпирические результаты работы, рассматриваются дальнейшие направления в развитие темы исследования. Отмечается, что взаимосвязь геодинамики литосферы и опасных природных процессов носит глубинный фундаментальный характер. Эндогенные и экзогенные опасные природные процессы, во многом, определяются литосферными движениями, источники которых находятся в глубинах ядра и мантии Земли, а тектонические движения и напряжения являются источником опасных геоэкологических процессов. Взаимодействие литосферы и астеносферы в значительной степени влияет на формирование и эволюцию геологических структур и определяет многие опасные геоэкологические процессы и явления. Выявление этих связей и закономерностей на новом уровне представляет направление дальнейших исследований и разработок.

Анализ работы, в целом, показывает, что основные защищаемые положения диссертационной работы обоснованы и подтверждаются фактическим материалом. Главные результаты исследования В.Б. Сваловой опубликованы в монографиях и рецензируемых научных изданиях. Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы. Перечисленные в отзыве рекомендации и замечания носят в большей мере уточняющий характер и не снижают теоретическую и практическую значимость исследования, проведенного соискателем.

В целом, диссертационная работа Сваловой Валентины Борисовны представляет собой законченное фундаментальное научное исследование, выполненное на высоком научно-методическом уровне и имеющее важное теоретическое и практическое значение.

Диссертационная работа «Геоэкологические аспекты геодинамических процессов в литосфере» соответствует требованиям, предъявляемым к специальности 1.6.21. – Геоэкология (геолого-минералогические науки) и требованиям ВАК, предъявляемым к

докторским диссертациям, а её автор – Свалова Валентина Борисовна – достойна присвоения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.21 – Геоэкология (геолого-минералогические науки).

Официальный оппонент:

Вольфман Юрий Михайлович, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, директор Института сейсмологии и геодинамики ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского» 295007, г. Симферополь, проспект Академика Вернадского, д.4

E-mail: seism.volf@gmail.com.

Моб. тел. +7 978 791 43 45

Шифр науч. специальности 25.00.03 – Геотектоника и геодинамика

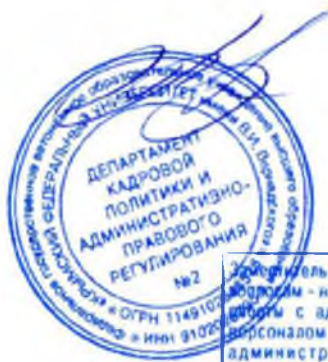
Ю.М. Вольфман

Я, Вольфман Юрий Михайлович, согласен на включение персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

14 июля 2023 г.

Ю.М. Вольфман

Подпись
Вольфман Ю.М.
удостоверяю



Заместитель директора департамента по кадровым вопросам - начальник отдела сопровождения кадровой работы с административно-управленческим и иным персоналом департамента кадровой политики и административно-правового регулирования

И.В. Самусенко