

На правах рукописи



Семенов Федор Владимирович

Геолого-географические предпосылки
формирования и размещения песчано-гравийных отложений аллювиального генезиса
Камского бассейна

25.00.25 Геоморфология и эволюционная география

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата географических наук

Работа выполнена в отделе геологии неметаллических полезных ископаемых в Центральном научно-исследовательском институте геологии нерудных полезных ископаемых и на кафедре ландшафтной экологии Института экологии и природопользования Казанского (Приволжского) федерального университета

Научный руководитель:

Ермолаев Олег Петрович доктор географических наук, профессор кафедры ландшафтной экологии ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Официальные оппоненты:

Назаров Николай Николаевич доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой физической географии и ландшафтной экологии географического факультета ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Глейзер Игорь Вадимович кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры физической и общественной географии географического факультета ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет»

Ведущая организация:

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный национальный исследовательский университет им. Н.Г. Чернышевского» (кафедра физической географии и ландшафтной экологии)

Защита состоится 28 мая 2015 г. в 13.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.081.20 в Казанском (Приволжском) федеральном университете по адресу: 420097, г. Казань, ул. Товарищеская, д. 5, Институт экологии и природопользования КФУ, ауд.315.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет». Электронная версия автореферата размещена на официальном сайте Казанского (Приволжского) федерального университета (<http://kpfu.ru/>).

Ваши отзывы на автореферат просим направлять по адресу: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, Казанский (Приволжский) федеральный университет, отдел аттестации научно-педагогических кадров. Факс: (843) 2337867. E-mail: laotdel@kpfu.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат географических
наук, доцент



Ю.Г.Хабутдинов

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы

В работе исследуются предпосылки формирования и размещения песчано-гравийных отложений аллювиального генезиса. С практической точки зрения – это месторождения песчано-гравийных материалов (ПГМ). Вопросы прогноза месторождений и проявлений ПГМ были актуальны всегда, не сняты они и с нынешней повестки дня. ПГМ пользуются большим спросом в строительной отрасли, они используются при отсыпке оснований для дорог и площадок, строительстве и ремонте трубопроводов, производстве бетонов, строительных бетонных и фундаментных работах, а также как отличный дренирующий слой.

Актуальность проблемы прогноза ПГМ как востребованного в строительстве материала, подтверждается такими правительственными документами, как «Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года (распоряжение Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 г. № 1734-р), «Обеспечение доступным и комфортным жильём и коммунальными услугами граждан Российской Федерации» на 2013-2020 годы (Программа Правительства РФ от 30.11.2012 г, № 2227-р).

Объект исследования – Камский бассейн (площадь 507 тыс. км²), **предмет исследования** – геолого-географические предпосылки формирования и размещения песчано-гравийных отложений аллювиального генезиса Камского бассейна, **уровень генерализации** – региональный (масштаб 1:1 000 000).

Степень разработанности проблемы

Исследованиям аллювиальных отложений на равнинных реках посвящены классические труды отечественных географов и геологов (Докучаев В.В., 1949; Никитин С.Н., 1886, 1895; Павлов А.П., 1923; Билибин Ю.А., 1938; Николаев Н.И., 1946, 1947; Горещкий Г.И., 1947, 1948; Ламакин В.В., 1947; Мирчинк Г.Ф., 1947; Шанцер Е.В., 1951; Маккавеев Н.И., 1955; Н.А.Шилов, 1981; С.С.Воскресенский, 1985 и др.). Вопросы дифференциации и интеграции осадков в современном аллювии, изменения в строении аллювиальных отложений под влиянием неотектоники рассматриваются также рассмотрены в ряде работ (Б.С.Лунев, 1959, 1967, 1973, 2005, 2010; Б.М.Осовецкий, 1966, 1968, 1970, 1973; В.А.Полянин, В.Г.Изотов, Г.Н.Бирюлев, 1974; А.А.Чистяков, 1978; В.А.Наумов, 1990, 2000, 2003, 2011; О.Б.Наумова, 2000, 2001, 2002, 2005 и др.).

На формирование аллювия большое влияние оказывают гидродинамические процессы. Основной перенос больших масс твердых осадков переносится именно при паводках и половодьях, когда расход водного стока достигает своего максимума. В 40-50-х гг. прошлого века начинается моделирование процессов стокообразования на речных водосборах. Этим аспектам уделено большое внимание в работах М.А. Великанова, Г.А. Алексеева, А.Н. Бефани, Г.П. Калинина, В.Д. Комарова, Е.Г. Попова, Р.Е. Хортона, Р.К. Линслей, М.А. Колера, Д.А. Буракова, Ю.Б. Виноградова, Б.И. Гарцмана, А.Н. Гельфана, Ю.М. Денисова, С.А. Кондратьева, В.И. Корн, Л.С. Кучмента, Ю.Г. Мотовилова, В.А. Румянцева и др.

Цель работы

Выявить геолого-географические предпосылки формирования и размещения песчано-гравийных отложений аллювиального генезиса Камского бассейна.

В ходе работы решались следующие задачи:

1. Определение ведущих факторов, влияющих на формирование и размещение песчано-гравийных отложений аллювиального генезиса.
2. Разработка автоматизированного метода построения тематических геоморфологических карт (базисных и вершинных поверхностей) с использованием современных информационных технологий для выделения локальных неотектонических структур, влияющих на формирование и размещение песчано-гравийных отложений аллювиального генезиса.
3. Разработка комплексного геолого-географического анализа территории для оценки возможности формирования и размещения песчано-гравийных отложений.

4. Усовершенствование методики расчета максимальных расходов стока паводковых вод на малых водотоках (до применения на средних и крупных) и ее использование в исследовании аллювиальных отложений, в том числе и песчано-гравийных, на крупных реках Камского бассейна.

Научная новизна

Впервые для прогноза размещения песчано-гравийных отложений аллювиального генезиса разработан и применен метод, включающий автоматизированное создание морфометрических карт средствами геоморфометрического анализа и геостатистических построений.

Впервые при выделении участков, потенциально перспективных для формирования и размещения песчано-гравийных отложений, разработан подход, использующий сравнительный анализ продольных профилей рек с их усредненной математической моделью.

Усовершенствована методика расчета максимальных расходов различной обеспеченности на малых водотоках (до расчета на средних и крупных), позволяющая оценить роль гидрологического влияния на формирование аллювиальных отложений.

Практическая значимость работы

Результаты исследования могут быть использованы в геоморфологии, геологии, гидрогеологии, гидрологии, геоэкологии и инженерных изысканиях при решении широкого круга задач. К ним можно отнести построение специализированных геоморфологических карт, выделение тектонических структур, прогноз месторождений и проявлений песчано-гравийных материалов аллювиального генезиса, расчет максимальных расходов паводковых вод различной обеспеченности, а также в учебном процессе при подготовке специалистов по направлению «География», «Геология», «Картография и геоинформатика». Практическая значимость работы подтверждается актами внедрения (акт ФГУП «НПО Радиевый институт им. В.Г.Хлопина» от 26.12.2013 г. №217-600-650/2663; акт ООО «Русгеоком» от 28.10.2013 г. №16/10; акт ООО «Центр ДиС» от 22.10.2014 г. №2868/1). Методические разработки диссертанта применены при прогнозных построениях в рамках выполнения Государственного контракта №11-ЭА от 25.07.2013 г. (ФГУП «ЦНИИГеолнеруд»), а также Гранта Русского географического общества «Интегральная оценка и картографирование геоэкологического состояния речных бассейнов Среднего Поволжья» (2014 г.; проект № 13-05-41126).

Методы исследования

Методы исследования, использованные в работе: сравнительно-географический, геоморфологический (геоморфометрический, геостатистический и морфометрический анализ), геологический (анализ геологических разрезов скважин и т.д.), картографо-геоинформационный и математико-статистические.

Исходные данные, используемые в работе – цифровая модель рельефа (GTOPO) с разрешением ~ 900 м и цифровая модель рельефа, построенная методом Криге с использованием данных глобальной цифровой модели SRTM 90 с разрешением ~ 450 м, топографический, геологический, картографический и фактографический материалы по бассейну р.Камы, в т.ч. Государственные (от 1967 до 1994 гг.) и Территориальные (на 2008 г.) балансы ПГМ; литературные источники (Горетский, 1964; Лунев, Кропачев, 1959; Лунев, 1967; Рождественский, 1971; Осовецкий, 1973; Полянин, Изотов, Бирюлев, 1974; Наумова, 2001, 2002; Наумов, 2010, 2011 и т.д.). Всего в работе рассмотрено 318 месторождений и проявлений ПГМ.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. **Автоматизированный метод построения статистико-геоморфологических карт базисных и вершинных поверхностей для их использования при прогнозе размещения песчано-гравийных отложений аллювиального генезиса.** Метод основан на синтезе трех основных концепций: геоморфометрического анализа цифровых моделей рельефа и геостатистических построений геоморфологических карт; морфометрического анализа созданных таким способом геоморфологических карт для идентификации локальных положительных неотектонических структур; неотектонического контроля аллювиальных отложений.

2. **Метод комплексного геолого-географического анализа территорий перспективных для формирования и размещения песчано-гравийных отложений.** Метод основан на комплексном анализе геологических, геоморфологических и гидрологических предпосылок формирования и размещения песчано-гравийных отложений. Геологические предпосылки – это источники питания, неотектонический контроль, строение и характеристика уже известных песчано-гравийных отложений. Геоморфологические предпосылки – это высотные отметки рельефа, строение

участков речных долин, на которых формировались и в настоящее время размещаются песчано-гравийные отложения. При этом проводится статистический анализ рельефа, включающий построение его гипсографической кривой, продольных и поперечных профилей речных долин. Гидрологические предпосылки включают анализ иерархии (порядка) речной сети и максимальных расходов паводковых вод, и их влияние на аллювиальные песчано-гравийные отложения.

3. Усовершенствованная методика расчета максимальных расходов паводковых вод для малых водотоков (до применения на средних и крупных) в изучении аллювиальных отложений. Методика позволяет провести анализ воздействия максимальных расходов паводковых вод на аллювиальные отложения (в том числе песчано-гравийные), а также выявить закономерности гидрологических и геоморфологических условий на их формирование и размещение.

Апробация результатов исследования

Основные результаты работы докладывались на различных научных форумах: Научно-практическая конференция «Прогноз, поиски и оценка рудных и нерудных месторождений – достижения и перспективы» (20-22 мая 2008 г., Москва, ЦНИГРИ); Третья научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «Комплексное изучение и оценка месторождений твердых полезных ископаемых» (17-18 мая 2011 г., Москва, ВИМС); Международная научная конференция «Синтез знаний в естественных науках» 2011 г., Пермь, Перм. гос. нац. иссл. ун-т, Естественнонауч. ин-т.; Седьмая общероссийская конференции изыскательских организаций. Инженерные изыскания в строительстве (15-16 декабря 2011 г., Москва); Научные чтения памяти П.Н.Чирвинского. Проблемы минералогии, петрографии и металлогении (31 января- 1 февраля 2012 г., Пермь); Всероссийское совещание по изучению четвертичного периода: Фундаментальные проблемы квартера, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований (10-15 июня 2013 г. Ростов-на-Дону); XXXIII Пленум Геоморфологической комиссии РАН (17-20 сентября 2013 г. Саратов); III Молодёж.научн. конф. «Молодежь и наука Забайкалья» (12-15 ноября 2013 г., Чита); Всероссийская конференция (с международным участием) «Рудообразующие процессы: от генетических концепций к прогнозу и открытию новых рудных провинций и месторождений», посвященная 100-летию со дня рождения академика Николая Алексеевича Шилов (1913–2013), (29 октября - 1 ноября 2013 г.); VII Всероссийский гидрологический съезд. Секция «Опасные гидрологические явления (наводнения, маловодья, сели) – оценка, прогноз, снижение рисков» (19-21 ноября, 2013 г., Санкт-Петербург); Пятая научно-практическая школа-конференция молодых ученых и специалистов с международным участием, посвященная 150-летию со дня рождения академика В.А.Обручева «Геология, поиски и комплексная оценка месторождений твердых полезных ископаемых»; V Международный конгресс «Чистая вода. г. Казань» (26-28 марта 2014 г.); Итоговые научные конференции Казанского (Приволжского) университета (2011, 2012 и 2013 гг., Казань) Секция: «Геоэкология и природопользование»; Научный семинар на кафедре геоморфологии Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета (3 декабря 2013 г., Санкт-Петербург).

Структура и объем работы

Общий объем диссертации 250 страницы и состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и графического приложения. Диссертация иллюстрирована 182 рисунками и 34 таблицами. Список литературы включает 338 источников (в том числе 138 зарубежных). Графические приложения содержат 10 карт.

Благодарности

Диссертация выполнена под научным руководством доктора географических наук, профессора О.П.Ермолаева, которому автор глубоко благодарен за оказанную всестороннюю помощь при работе над диссертацией. Автор искренне признателен кандидату геолого-минералогических наук Г.Н.Бирюлеву за внимание, поддержку и научные консультации. Автор выражает искреннюю благодарность докторам геолого-минералогических наук Е.М.Аксенову, Т.З.Лыгиной, С.О.Зориной, В.Г.Чайкину, У.Г.Дистанову, Б.С.Луневу, В.А.Наумову, О.Б.Наумовой, А.В.Лаломову, В.Г.Ветлужских, Р.Х.Сунгатуллину, Г.Ф.Уфимцеву, доктору географических наук А.Н.Ласточкину, доктору педагогических наук А.И.Жирову, доктору биологических наук А.А.Савельеву, доктору физико-математических наук Ш.Х.Зарипову, кандидатам геолого-минералогических наук Г.И.Ярочкину, Т.А.Щербаковой, Ф.А.Закировой, А.Н.Бочневой, кандидатам географических наук Р.К.Садыкову, Д.В.Лопатину, В.В.Мозжерину, К.А.Мальцеву, А.В.Гусарову,

Е.В.Петровой, Г.Р.Сафиной, кандидату технических наук В.Ф.Семенову за консультации и ценные предложения, сделанные в ходе подготовки диссертационной работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Обзор работ по изучению аллювия, морфометрическому и геоморфометрическому анализу рельефа

В главе рассматриваются основные этапы изучения аллювия равнинных рек. Вопросам изучения аллювия равнинных рек посвящены классические исследования В.В.Докучаева(1949), С.Н.Никитина (1886, 1895), А.П.Павлова (1923) посвященных геоморфологическим аспектам вопроса. Специальные исследования особенностей формирования и строения аллювия в СССР начинаются с тридцатых-пятидесятых годов прошлого века, связанные с поиском золотых россыпей. В книге Ю.А.Билибина (1938) по геологии россыпей содержится много новых оригинальных данных по аллювиальным отложениям и развитию речных долин на примере рек Северо-Востока СССР. Несколько позднее вышли работы Н.И.Николаева (1946, 1947), Г.И.Горецкого (1947, 1948), В.В.Ламакина (1947), Г.Ф.Мирчинка (1947), Е.В.Шанцера (1951), Н.И.Маккавеева (1955), которые ввели основные понятия в изучение равнинного аллювия.

Данные о дифференциации осадков в современном аллювии и изменении строения аллювиальных отложений под влиянием неотектоники содержатся в работах Б.С.Лунева (1967). Большой вклад в изучение равнинного аллювия внесли работы Г.И.Горецкого (1964, 1966, 1970, 1982), посвященные великим прарекам Русской равнины (Камы, Волги, Днепра, Дона). Следует также отметить труды С.С.Воскресенского (1985) и Н.А.Шило (1981, 2000) о россыпях и их формировании. Академиком Н.А.Шило создано учение о россыпях.

Изучением аллювиальных отложений р.Камы и ее притоков занимались такие видные ученые, как Г.И.Горецкий (1964), А.П.Дедков (2008), В.А.Полянин (1974). Сейчас активно продолжают заниматься этим вопросом в Казани во ФГУП «ЦНИИГеолнатур» – Г.Н.Бирюлов (1974, 1998, 2011), в Перми в ПГУ – Б.С.Лунев (1959, 1973, 2005, 2010), Б.М.Осовецкий (1966, 1968, 1970, 1973), В.А.Наумов (1990, 2000, 2003, 2011) и О.Б.Наумова (2000, 2001, 2002, 2005) и др. Одна из самых сильных и известных школ в нашей стране, занимающаяся аллювиальными отложениями, – Пермская. Аллювиальными отложениями также занимаются в МГУ в Лаборатории эрозии почв и русловых процессов им.Маккавеева (Чалов, 1979, 1997, 1998, 2000, 2003, 2004, 2008, 2011; Виноградова, Хмелева, 2009; Беркович, 2012, 2013 и др.). В Москве в ФГБУ ИГЕМ РАН россыпные месторождения исследуют ученики Н.А.Шило – А.В.Лаломов, С.Э.Таболич, А.А.Бочнева и др; в Рос.гос.геол.развед.ун-те – Н.И.Корчуганова и др. В Магадане в СВКНИИ ДВО РАН – это Ю.И.Гольдфарб (2009) и др.

Морфометрический метод поиска неотектонических структур (по В.П.Философову), основанный на анализе высот тальвегов и водных урезов водотоков и водоразделов различных иерархических порядков, был очень популярен в 60-тые, 70-тые и 80-тые годы прошлого столетия для выявления тектонических структур, когда велись поисковые работы на нефть и газ. Для выявления движений земной коры С.С.Соболев (1936, 1938, 1948) впервые успешно применил морфометрический метод, основанный на изучении глубины врезания речных долин, заложив тем самым основы генетической структурной морфометрии (Философов, 1975).

Большое значение в морфометрическом анализе рельефа имеют следующие понятия: 1) о возрастании порядка долин при переходе от элементарных водотоков, к главному водотоку, которое впервые было изложено Р.Е.Хортоном (1948), Б.П.Пановым (1948), В.П.Философовым (1959 а, 1960 а, 1967 а), Н.А.Ржаницыным (1960); 2) понятие о базисной поверхности, нижняя часть которой совпадает с базисом эрозии (Хортон, 1948). Для развития структурной морфометрии большое значение имела разработка теории поля применительно к исследованию геохимических полей (Соболевский, 1932). П.К.Соболевский вывел основное понятие о топографических поверхностях, которое впоследствии широко применялось в морфометрии. В структурно-морфометрическом методе начало применения математических действий к топографическим (гипсометрическим) поверхностям произошло благодаря работе П.А.Рыжова (1952, 1964). Сейчас этот метод широко применяется в Казанском федеральном университете (Чернова и др. 2008; 2009; 2010; 2011; 2012; Ермолаев и др. 2012, 2014), в Иркутском институте земной коры СО РАН (Уфимцев и др. 1977; 1984; 1985; 1992; 2009), в Воронежском государственном университете (Жаворонкин и др. 1993;

2001), в Белорусском государственном университете (Курлович и др. 2010; 2012; 2013) и ряде других научно-исследовательских и научно-образовательных учреждений.

В ходе развития космических и компьютерных технологий в отдельное направление в картографии и геоморфологии оформилось создание и геоморфометрический анализ цифровых моделей рельефа. Научные задачи и практические исследования определяют переход от традиционных морфометрических методов к цифровому моделированию рельефа. В настоящее время цифровые модели рельефа и их анализ (геоморфометрический), широко используются для решения задач в таких науках, как геоморфология, гидрология, геология, геоэкология и др. Бурно это направление развивается за рубежом (J.P.Wilson, J. C.Gallant, J.Wood, H. I.Reuter, Hengl T., M.J.McCullagh, I.D.Moore, J.B.Lindsay и др.). В настоящее время создано множество инструментов (специальных программных модулей) для создания и анализа цифровых моделей рельефа (SAGA, TAS, ESRI, GRASS и др.).

Глава 2. Методы и материалы исследования

На первой стадии исследования рассматривались условия формирования аллювиальных песчано-гравийных отложений.

Основными факторами, влияющими на формирование и размещение песчано-гравийных отложений аллювиального генезиса, являются: 1) геологическое строение территории, включающее в себя наличие в составе горных пород источников питания песчано-гравийных отложений и тектонические условия; 2) геоморфологические условия, определяющие общее направление уклона водосбора и его площадь, падение русла реки, профильную и продольную кривизну долины, ее строение; 3) климат региона, определяющий тип и интенсивность выветривания горных пород, гидрологические и гидродинамические характеристики водотоков и водосборных площадей, опосредованно через геокомпоненты ландшафта влияющий на русловую и бассейновую эрозию.

Одним из значимых факторов, влияющих на формирование и размещение песчано-гравийных отложений аллювиального генезиса, является неотектонический контроль. В нашем исследовании особое внимание уделено роли положительных и отрицательных неотектонических структур. Связано это с тем, что локальные неотектонические поднятия и валообразные структуры, пересекающиеся руслом реки, формируют так называемые барьеры (перемычки).

А.А.Чистяков (1978) по характеру воздействия на гидродинамический режим водотока выделяет три типа барьеров (перемычек): перегораживающие, суживающиеся и струенаправляющие.

Перегораживающие барьеры (перемычки) создают на пути потока барьер – препятствие. Если водный поток достаточно мощный, он преодолевает эту преграду. На этом участке реки изменяется гидродинамический режим и происходит отложение наносов. На первом этапе скорость течения потока замедляется и происходит выпадение и отложение влекомых и взвешенных наносов, ниже по течению скорости течения возрастают, при этом возникает положительная деформация водной поверхности. Так в районе г.Краснокамска (Краснокамско-Полазенское тектоническое поднятие), она достигает 0,8 м (Наумова, Лунев, 2001), на этом этапе происходит отложение тяжелой фракции и крупнообломочного материала, а также вынос водным потоком легкой фракции и мелких частиц.

Суживающиеся барьеры (перемычки) не перегораживают русла рек, а только приводят к их сужению. Скорости водного потока на таких участках возрастают, а крупность наносов возрастает. Ниже по течению таких перемычек происходит падение скоростей водного потока и разгрузка влекомых и взвешенных наносов.

Струенаправляющие перемычки имеют вид береговых выступов различной формы и размеров, их влияние на водный поток сводится к изменению направления водного потока, что в свою очередь, приводит к трансформации гидродинамического режима и отложению наносов.

При пересечении руслом реки положительной тектонической структуры идут процессы механической дифференциации отложения обломочного материала.

Важно отметить тот факт, что на реках неотектонические структуры часто чередуются: положительную структуру сменяет отрицательная и – наоборот. (Наумова, Лунев, 2001).

На горных и полугорных реках, имеющих большие уклоны продольного профиля реки и скорость течения, отложение наносов происходит в межгорных впадинах или озеровидных расширениях, приуроченных к отрицательным тектоническим структурам. В этих частях уклон русла становится пологим, скорости течения падают, долина расширяется. Происходит смена гидродинамического режима, приводящего к отложению обломочного материала. Те же процессы можно наблюдать при выходе горных или полугорных рек на равнину. На равнинных реках, когда русло реки пересекает достаточно крупные по площади положительные тектонические структуры, формируется интенсивный гидродинамический режим водного потока. При его выходе за пределы структуры и изменении интенсивного гидродинамического режима на более спокойный, происходит отложение перемещаемого рекой обломочного материала.

Все вышеописанные варианты механической интеграции формирования обломочного материала наблюдаются на общем фоне отрицательной деформации водной поверхности.

На реках первых (низших) порядков в пределах размещения горных пород, являющихся источниками питания аллювиальных отложений песчано-гравийным материалом, в зоне влияния положительных неотектонических движений идут интенсивные процессы размыва. В результате увеличивается количество поступающего в аллювий обломочного материала, что также приводит к его механической интеграции на этих участках (Наумов, 2011).

Аккумулятивные формы в пределах речных русел: острова, отмели, косы и побочни являются, с одной стороны, продуктом аллювиальных отложений, а с другой, – сами оказывают существенное влияние на их формирование. Механизм влияния аккумулятивных форм рельефа на гидродинамику водного потока такой же, как и у тектонического барьера. Перед барьером скорости водных потоков падают, что способствует отложению наносов. На барьере скорость возрастает и происходит концентрация тяжелой фракции и крупнообломочного материала. Общеизвестно, что на островах в их головной части, также идет концентрация крупнообломочной и тяжелой фракции аллювия, а к устью острова крупность отложений убывает.

В устьевых участках притоков, впадающих в рассматриваемую реку, часто повышается мощность аллювиальных отложений и образуются аккумулятивные формы рельефа. Это способствует концентрации крупнообломочного материала и формированию песчано-гравийных отложений. Кроме того, притоки сами могут являться поставщиками песчано-гравийного материала.

Первичные речные излуины, генезис которых обусловлен рельефом земной поверхности, как и вторичные излуины, образованные самим водным потоком, существенно влияют на формирование и строение аллювиальных свит. Из вторичных излуин наибольшее влияние на формирование песчано-гравийных отложений оказывают вынужденные меандры, образовавшиеся при возникновении препятствия для водного потока, при котором водный поток меняет свое направление (аналог – струенаправляющий барьер). При возникновении препятствия меняется гидродинамический режим водного потока, скорости падают. В результате происходит отложение перемещаемого рекой материала. Такого же рода процесс наблюдается и на первичных излуинах, в формировании которых участвуют геологические структуры.

Песчано-гравийные отложения аллювиального генезиса встречаются: в русле реки как в стрежневой ее части, так и на отмелях и островах; в пойменной части – в протоках, старицах, на островах, под глинистыми и суглинистыми породами, образованными пойменной фацией или перекрытые делювиальными отложениями; в речных террасах, часто также перекрытых делювиальными отложениями. На равнинных и полугорных реках песчано-гравийные отложения относятся к русловой фации. Таким образом, песчано-гравийные отложения в речных долинах представлены аллювием разного возраста. Они размещены в различных элементах речных долин и на разных гипсометрических уровнях.

Обобщая вышеизложенное, можно заключить, что песчано-гравийные отложения аллювиального генезиса формируются: а) при наличии источников питания, представленных обломочным материалом (конгломератами, песчаниками, гравелитами, песками и т.п.); б) при благоприятных геоморфологических условиях для сноса обломочного материала в определенном направлении; в) при климатическом контроле, влияющим на процессы выветривания и гидрологические условия; г) при достаточной мощности водного потока, обусловленного площадью водосборного бассейна, его уклоном, объемом и интенсивностью поверхностного склонового стока; д) при контроле неотектоническими локальными поднятиями, пересекающимися руслом реки или оказывающими влияние на направление водного потока, а значит и на направление русла; е) при

изменении гидродинамического режима водного потока в горных впадинах и озеровидных расширениях долины; ж) под влиянием притоков реки, питающих главную реку наносами, в том числе и песчано-гравийным материалом; з) под влиянием русловых аккумулятивных форм (острова, отмели, косы побочни и т.д.; и) под влиянием первичных излучин и вынужденных меандров.

Концептуально нами определены были следующие предпосылки формирования и размещения песчано-гравийных отложений аллювиального генезиса: 1) наличие и характер горных пород, являющихся источниками питания; 2) неотектонический контроль формирования отложений; 3) геоморфологические условия для перемещения обломочного материала под действием силы гравитации и поверхностных вод (амплитуда между максимальными и минимальными отметками земной поверхности, продольные профили долин и др.); 4) гидрологические предпосылки (зависимость аллювиальных отложений от порядка речной долины и максимальных расходов паводковых вод).

Автоматизированное построение специализированных геоморфологических карт для их использования при изучении аллювиальных отложений

Основная решаемая задача сводилась к разработке методики автоматизированного построения карт вершинных и базисных поверхностей. Для создания подобных аналитических карт в качестве исходных данных служили цифровые модели рельефа (ЦМР) Земли (GTOPO и SRTM) с разрешением ~450 и ~900 м и программное обеспечение для их обработки, построения и анализа, такие как «TAS» и «Surfer».

Вся работа разбивалась на несколько взаимосвязанных этапов. На первом этапе в «TAS» был построен гидрологически верный рельеф и выделена гидрографическая сеть. За водоток 1-го порядка принимался водоток с водосборной площадью более 10 км². В этой программе вся территория исследования представляет собой матрицу, в которой ячейки, относящиеся к гидросети, имеют значения равные – 1, а с ее отсутствием – 0.

Второй этап включал построение порядка гидрографической сети. На третьем этапе для построения карты базисной поверхности 2-го порядка отсеиваются водотоки (дренажная сеть) 1-го порядка. Исходными данными является цифровая матрица иерархии дренажной сети (ЦМИДС). Для этого используется растровый калькулятор, в котором задается логический алгоритм: «ЕСЛИ (ЦМИДС < 2), ТО ЦМИДС * 0, ЕСЛИ НЕТ, ТО ЦМИДС ^ 0». То есть, если значение матрицы иерархии дренажной сети меньше 2, то это значение умножается на ноль, если же значение больше или равно 2, то оно возводится в нулевую степень и принимает значение 1. На выходе мы получаем матрицу дренажной сети, где отсутствуют водотоки 1-го порядка.

Четвертый этап заключался в умножении матрицы дренажей 1-го, 2-го и более высоких порядков на ЦМР с гидрологически верным рельефом. Так как ячейки дренажной сети имеют значение 1, а остальные значение – 0. На выходе мы получаем значения высот по тальвегам рек 2-го и более высокого порядка и нулевые значения. Далее производится экспорт данных со значениями высот по тальвегам рек 2-го и более высоких порядков в текстовый файл с координатами X, Y и Z. Точки с нулевым значением высоты (Z) удаляются.

На последнем этапе в «Surfer 8» методом Криге строятся электронные векторные карты рельефа базисных поверхностей с сечением между изобазитами 20 м.

Для построения карт вершинных поверхностей на первом этапе необходимо из максимальной высоты исходной ЦМР в растровом калькуляторе «TAS» вычесть эту же цифровую модель. В итоге на выходе получаем инверсионную (обращенную) ЦМР. На этой модели тальвеги рек являются водоразделами, а вершинные поверхности тальвегами. Есть также альтернативный вариант создания такой карты путем умножения исходной ЦМР в растровом калькуляторе на (-1) (Чернова и др., 2005). Затем ЦМР подвергается предварительной обработке для построения гидрологически идеального рельефа, строится гидрографическая сеть, определяется порядок водотоков, отсеиваются водоразделы 1-го порядка. По высотным значениям оставшейся водораздельной сети строится карта вершинных поверхностей 1-го и 2-го порядка.

На основании построенных карт изобазит и изогипсобазит были выделены оси так называемых неотектонических барьеров. Барьеры в нашем понимании – это тектонические поднятия, пересекаемые рекой или оказывающие влияние на направление водного потока. Критериями выделения являлись рекомендации В.Я. Гвина, который для выделения локальных структур по карте базисной поверхности среднего масштаба использовал следующие признаки: 1) участки замкнутых изобазит повышенных значений; 2) участки так называемых «структурных носов» на карте изобазит;

3) участки «раздувов» между одноименными изобазитами. Указанные признаки выделения структур распространяются и на карты вершинных поверхностей (Философов, 1975). При пересечении руслом неотектонического поднятия при нормальном рельефе (без инверсий) образуются две вершины, разделенные речной долиной. Соединяя вершины разделенные долиной, мы выделяем ось барьера (тектонического поднятия), которое контролирует формирование песчано-гравийных отложений. Сужение долин со сгущением изобазит, также выделялись нами, как предположительно неотектонические положительные структуры, не проявляющиеся в рельефе в виде поднятий, но влияющие на гидродинамический режим потоков и, как следствие, на формирование песчано-гравийных отложений. Если же тектоническое поднятие не пересекается рекой, а меняет ее направление, то барьер мы проводили по оси выделенного поднятия до пересечения с руслом реки. Соответственно были выделены оси барьеров по картам базисных и вершинных поверхностей. Пересечения осей барьеров с руслом реки отмечались на карте пунсонами. Для них затем были построены буферные зоны с радиусом 10, 15 и 20 км. После этого подсчитывался объем запасов ПГМ, попавших в эти буферные зоны. Затем для буферных 15-ти км зон проводилось сравнение с размещением месторождений ПГМ и с пространственным положением тектонических положительных структур, пересекаемых реками. Результаты исследования приведены в следующей главе.

Методический подход к комплексному геолого-географическому исследованию гравийносыльных провинций Камского бассейна

Камский бассейн включает в себя водосборные площади таких крупных рек, как Белая и Вятка, которые выделяются нами как Бельская и Вятская питающие гравийносыльные провинции. Кроме того, верхнее, среднее и нижнее течение р. Камы со своими притоками и водосборными площадями также выделяются как гравийносыльные питающие провинции – Верхнее-, Средне- и Нижнекамская. Каждая провинция характеризуется специфическим набором геоморфологических, геологических и гидрологических характеристик. Одним из основных критериев выделения гравийносыльных провинций являются особенности пространственного развития ведущих геолого-географических условий. В пределах провинций выделялись участки, отличающиеся характерными только для них геологическими и геоморфологическими условиями. Весь последующий анализ условий формирования и размещения песчано-гравийных отложений аллювиального генезиса проведен соответственно по участкам и провинциям.

Разработаны методические подходы по комплексному геолого-географическому анализу. Он включает следующие этапы:

1) ***Анализ геологических предпосылок формирования и размещения песчано-гравийных отложений аллювиального генезиса.*** Анализируются геологические предпосылки на предмет размещения в пределах исследуемых территорий источников питания песчано-гравийных отложений. Также рассматривается строение песчано-гравийных отложений аллювиального генезиса, содержание в них гравия и его петрографический состав, приуроченность к элементам долины и т.д.

2) ***Построение гистограммы рельефа и его статистический анализ.*** По гистограмме рельефа можно судить о принадлежности бассейна реки к горному предгорному или равнинному типу рельефа. При статистическом анализе рельефа определялись минимальные, максимальные и средние высоты земной поверхности, амплитуда между минимумом и максимумом, среднеквадратическое отклонение.

На рисунке 1 показаны гистограммы рельефа участков Верхнекамской провинции. Западный участок – равнинный рельеф, Восточный – горный рельеф и Южный – предгорный, переходный.

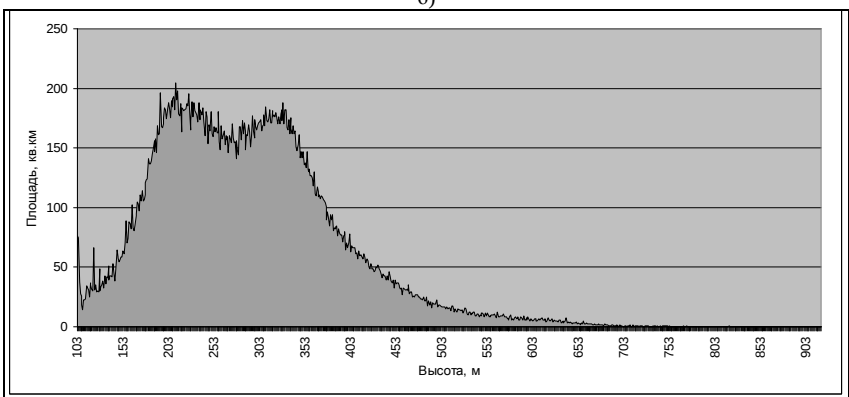
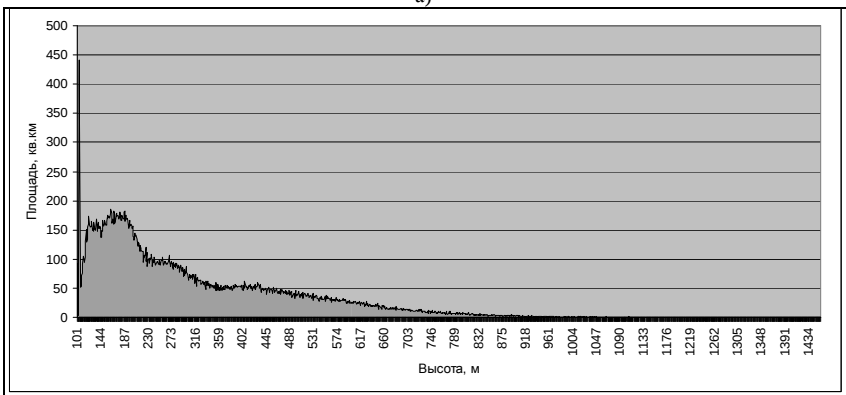
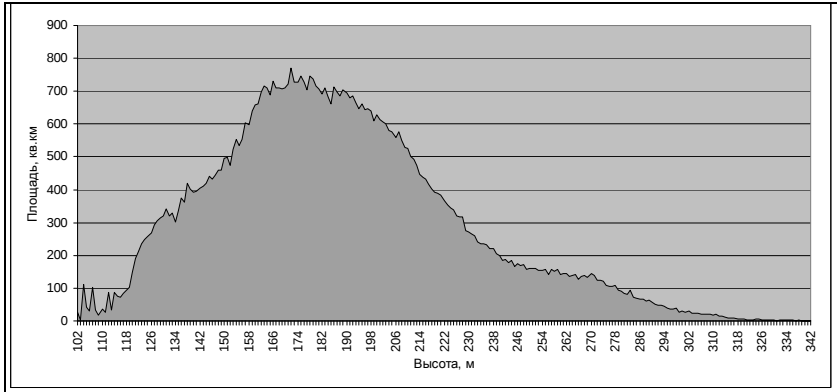


Рис. 1. Гистограмма рельефа участков Верхнекамской провинции: а – Западный участок (равнинный рельеф); б – Восточный участок (горный рельеф); в – Южный участок (рельеф предгорий, переходной)

3) *Проведение анализа по Философову-Штраллеру-Хортону крупных и средних рек гравийносных провинций определяющего их порядок.* При анализе для водотоков каждого порядка определяется их количество, длина, водосборная площадь, уклон, густота речной сети (отношение длины водотоков к их водосборной площади).

4) *Анализ продольных профилей рек, включал* их построение по урезам водной поверхности. Методом аппроксимации для каждого продольного профиля подбирается уравнение и строится график «среднего» продольного профиля. При подборе применялся метод наименьших квадратов. При условии, если R^2 равен значению от 0,8 до 1,0, уравнение графика удовлетворяет требованиям к сходимости данных реального профиля и его математической модели. При анализе максимальные отклонения реального продольного профиля от графика по уравнению принимались за аномальные участки: положительные отклонения соответствуют участкам с особо устойчивыми и прочными к размыву породами или положительным тектоническим движениям; отрицательные отклонения участкам с легко поддающимися размыву породами или с отрицательными тектоническими движениями. Подход к анализу продольных профилей речных долин на предмет размещения месторождений ПГМ, аналогичен предыдущему. Отличие в том, что в этом случае не использовался метод наименьших квадратов. Рассматривалось визуальное сходство графика построенного по уравнению с реальным профилем реки и соответствие основному условию, при котором R^2 был равен значению от 0,8 до 1,0. Кроме сравнения реального профиля с его математической моделью, проводился анализ мест размещения и объема запасов месторождений ПГМ по гистограммам. Запасы ПГМ откладывались от линии реального профиля в условных единицах в виде столбчатой диаграммы на том участке профиля реки, на котором они размещаются в действительности. Такой анализ позволяет оценить условия наиболее благоприятные для формирования песчано-гравийных отложений и выявить участки перспективные для их поисков. Особое внимание обращалось на его перегибы профиля, поскольку именно здесь изменение гидродинамического режима водного потока благоприятствует отложению обломочного материала.

5) *Построение поперечных профилей речных долин* осуществлялось по цифровым моделям рельефа с использованием программного обеспечения «TAS». Определялись участки, на которых преобладали процессы механической дифференциации или интеграции аллювия. Их можно проследить по характерным признакам, изучая форму речной долины и ее изменения в пространстве. Расширение речной долины, после узкого ее участка, вызывает процесс интеграции (аккумуляции) отложений, а сужение долины, после широкого участка – процесс дифференциации (размыва).

6) *Анализ опубликованной и фондовой литературы.* Основными информационными источниками служили «Балансы полезных ископаемых СССР» (выпуск 81 «Песчано-гравийные материалы», 1968, 1972, 1978, 1994 гг.); «Территориальные балансы общераспространенных полезных ископаемых субъектов Приволжского федерального округа 2008 г. (песчано-гравийные материалы и пески для строительных работ)»; диссертационные работы О.Б.Наумовой (2002), В.А.Наумова (2010), труды Б.С.Лунева, Б.С.Осовецкого, В.А.Полянина, В.Г.Изотова, Г.Н.Бирюлева, А.П.Рожественского, Ю.Е.Журенко, В.В.Голдырева, Г.А.Данукаловой и др.

Нами разработана и создана электронная база данных. Объектами базы данных в исследовании являлись месторождения и проявления ПГМ аллювиального генезиса в пределах Камского бассейна. Всего рассмотрено 318 объектов. Подробную информацию удалось собрать по 170 объектам. Сбор данных по гравийносным провинциям и объектам ПГМ в их пределах, а также их систематизация проводились стандартными методами. После составления и заполнения таблиц стандартными статистическими способами выборки и сортировки по тому или иному признаку были составлены тематические таблицы, на основании которых строились графики, диаграммы и гистограммы. Все эти материалы приведены в работе.

7) *Анализ продуктивности провинций Камского бассейна.* В числе анализируемых параметрических характеристик провинций рассматривались: а) запасы ПГМ; б) площадь водосбора; в) средневзвешенные высоты рельефа; г) продуктивность (отношение запасов ПГМ к площади) и др.

8) *Анализ приуроченности песчано-гравийных отложений к элементам долины.* В ходе исследования месторождений ПГМ Камского бассейна были выделены песчано-гравийные отложения размещающиеся: в русле реки – это стрежневые, косовые, островные и отложения на отмелях; в пойменной части долины – это старичные, проточные, островные; террасовые – размещенные в пределах 1, 2 и 3 террасы речной долины, реже на островах. Для анализа использованы стандартные статистические методы построения тематических таблиц и гистограмм.

Применение методики расчета максимальных расходов паводковых вод в исследованиях аллювиальных отложений Камского бассейна

Сделана попытка увязать гидрологические процессы, происходящие в реках, с формированием аллювиальных отложений. Рассматривался лишь один такой аспект: максимальные расходы паводковых вод. Проведено усовершенствование методики по следующим позициям: 1) предложено использовать современные информационные технологии выделения водосборов и расчета их площадей; 2) предложен способ расчета уклона водотока и длины водосбора; 3) дополнена таблица расчетного коэффициента K_t , который осуществляет переход от ливня часовой продолжительности к расчетной интенсивности до длины водосбора в 1000 км; 4) рассчитаны модульные коэффициенты при гамма-параметрическом законе распределения для 1, 5 и 10% обеспеченности; 5) проведен расчет максимального расхода стока паводковых вод для среднего или крупного водосбора и верификация расчетных данных с наблюдаемыми.

Отметим, что разработанную методику необходимо применять с учетом ряда особенностей бассейнов. К ним можно отнести наличие в пределах водосборов бессточных областей, а также в потере воды за счет инфильтрации. При этом, чем больше бассейн, тем больше и погрешность. Следовательно, при применении данной методики на средних и крупных реках необходимо ввести в расчетные формулы поправочный коэффициент.

Статистическими расчетами вычислены отношения наблюдаемых данных к расчетным. Они в среднем составляют для 1% вероятности – 0,51; 5% – 0,53; 10% – 0,55. Эти отношения и были взяты как поправочные коэффициенты к расчетным данным. Средняя разница, между наблюдаемыми и расчетными данными составила для 1% вероятности – 14%, для 5% – 11% и для 10% – 8%, что является приемлемым результатом для расчетов расходов максимального стока.

На мощность аллювия оказывает влияние расход воды во время весеннего половодья. Поэтому нами затем было проведено сравнение расходов воды 1% обеспеченности с водосборной площадью и мощностью голоценового (руслового и пойменного) аллювия в расчетном створе. Расчетные створы выбирались до и после впадения в реку крупных притоков и на участках, где наблюдаются перегибы или отклонения от среднего продольного профиля русла. Створ выше впадения крупного притока характеризует участок реки до изменений, которые происходят после впадения притока, соответственно створ ниже впадения характеризует эти изменения. Ход и результаты исследования приведены далее в следующей главе.

Глава 3. Комплексный геолого-географический анализ Камского бассейна

Исходные данные, используемые в работе – ЦМР«GTOPO» и «SRTM 90», топографические и тематические карты, опубликованные и фондовые материалы по геологии, тектонике бассейна р.Камы.

Рассмотренные в этой главе геологические, гидрологические и климатические условия Камского бассейна благоприятны для формирования аллювиальных отложений. В первую очередь здесь развиты отложения, потенциально являющиеся источниками питания для формирования аллювиальных песчано-гравийных отложений. В основном это конгломераты, гравелиты, песчаники пермского возраста, пески и песчано-гравийные отложения водоледникового генезиса.

Морфометрический анализ бассейна р.Камы. По изобазитам и изогипсобазитам 1-го и 2-го порядка построены оси локальных поднятий и валов, пересекающиеся долиной р.Камы либо примыкающие к ней. Они предположительно влияют на гидродинамический режим реки и, как следствие, на формирование аллювиальных отложений.

Построенные по картам вершинных и базисных поверхностей 1-го и 2-го порядков оси локальных поднятий, пересекающиеся руслами рек, сравнивались с локальными поднятиями, валообразными структурами и дизъюнктивными нарушениями, выделенными по геологическим и геофизическим данным (Юсупов, 1966). Проведено сравнение выделенных осей неотектонических структур, пересекаемых долинами рек, валообразных структур и локальных поднятий, с «Картой неотектонической активности Пермского края» (Копылов, 2013). Установлено, что геодинамические зоны регионального и локального уровней, выделенные пермскими учеными (Копылов, Коноплев, 2013) средствами морфонеотектонического анализа и аэрокосмогеологическими методами по высокой плотности линейментов в большой степени совпадают с выделенными по геофизическим и геологическим данным неотектоническими структурами. Прослеживается некоторое смещение

структур, выделенных в 2013 г. по отношению к структурам, выделенным в 1966 г. На наш взгляд такой эффект – это техническая погрешность. Оси структур, выделенных в ходе нашего исследования, также совпадают с данными пермских ученых (~95% сходимости).

Методами, приведенными в главе 2, были построены буферные зоны вокруг точек пересечения барьеров (осей неотектонических положительных структур) руслами рек с радиусом 10, 15 и 20 км. Подсчитан объем запасов ПГМ, попавших в зону влияния построенных буферных зон. В пределах Камского бассейна рассматривалось 318 месторождений с запасами кат. А+В+С₁+С₂ на дату их утверждения в количестве 1775831 тыс. м³. В буферную зону с радиусом 20 км попали 282 месторождения с запасами 1593276 тыс. м³ – 89,7% от общего количества запасов по Камскому бассейну. В буферную зону с радиусом 15 км попали 242 месторождения с запасами 1478728 тыс. м³ – 83,3% от общего количества запасов бассейна. В буферную зону с радиусом 10 км попали 168 месторождения с запасами 1069747 тыс. м³ – 60,2% от общего количества запасов. По итогам исследования для тектонических валов и локальных поднятий оптимальной, усредненной зоной влияния на формирование аллювиальных отложений было признано расстояние в 15 км от пересечения оси поднятия или вала с руслом реки вниз и вверх по течению в пределах рассматриваемой долины.

В ходе исследования разработаны подходы по морфометрическому анализу платформенных территорий на основе ЦМР регионального уровня генерализации для выявления неотектонических структур. В результате получен комплект геоморфометрических карт: базисной и вершинной поверхностей на Камский бассейн. Проведенная верификация полученных карт с геолого-геофизическими материалами показывает их хорошую сходимость. Морфометрический метод выявления неотектонических структур с использованием ЦМР и ГИС-технологий вместе с геолого-геофизическими методами повышает эффективность геологоразведочных работ и снижает их стоимость. Установлена эффективность использования данного метода при поиске россыпных месторождений, в частности песчано-гравийного сырья.

В качестве примера на рисунке 2 показаны буферные зоны, построенные для территории Пермского края и прилегающих территорий.

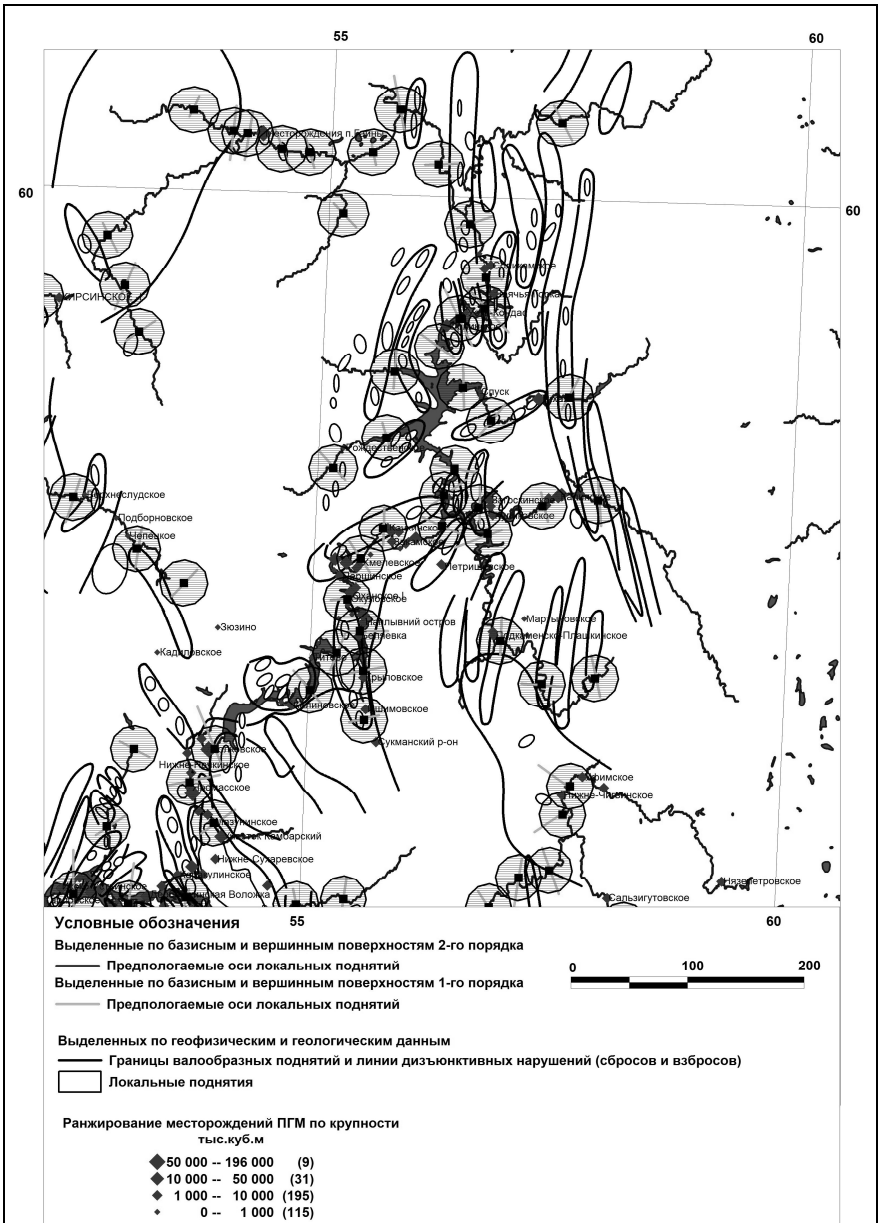


Рис. 2. Карта прогнозируемого влияния локальных поднятий, выделенных по карте базисной поверхности 1-го порядка, на формирования месторождений ПГМ. Масштаб 1:4 000 000

Комплексный геолого-географический анализ гравиеносных питающих провинций Камского бассейна. Используя выше рассмотренные методические подходы, проведен

комплексный геолого-географический анализ продуктивности гравийеносных провинций Камского бассейна. Установлено, что продуктивность провинций Камского бассейна зависит от геологического строения и рельефа местности. У площади Верхне- , Среднекамской провинций и Бельской провинции высокая продуктивность за счет того, что их водосборные площади охватывают как горные и предгорные области (зона Складчатого Урала), так и равнинные. Разрушающиеся горные породы Урала являются источниками гравийного материала для промежуточных коллекторов, представленных конгломератами и гравелитами, а также для аллювиальных отложений неогенового и четвертичного возраста. Геологическое строение территории меняется вместе с абсолютными отметками высот от меловых (Верхнекамская провинция) и пермских (Бельская провинция) до девонских и более древних отложений в зоне Складчатого Урала. Абсолютные высоты на рассматриваемой территории возрастают в восточном направлении. Прослеживается зависимость геологического строения исследуемых участков от высотной зональности и их пространственного расположения. Геологический возраст горных пород в пределах Камского бассейна возрастает с запада на восток. По В.Пенку, денудационные процессы интенсивнее идут на высоких гипсометрических уровнях. При этом у обломочного материала (продукт разрушения горных пород) на высоких уровнях имеется значительный энергетический потенциал, определяемый гравитационным фактором. Поэтому важным является определение минимальных, максимальных, средневзвешенных высот исследуемой территории, а также амплитуды между минимальными и максимальными высотами и среднеквадратического отклонения высот. Базисом эрозии исследуемого бассейна всегда будет минимальная высота, а по величине среднеквадратического отклонения можно судить о расчлененности рельефа. Зная вышеупомянутые параметры и анализируя их совместно с геологическими и другими данными, можно проводить сравнения между бассейнами, характеризовать их потенциальную продуктивность.

Продуктивность провинций Камского бассейна (тыс. $\text{м}^3/\text{км}^2$) следующая: Верхнекамской – 2,4; Среднекамской – 18,5; Бельской – 4,7; Нижнекамской – 11,01; Вятской – 1,2. Продуктивность Камского бассейна – 4,7 тыс. $\text{м}^3/\text{км}^2$, а водосбора Верхне- и Среднекамской провинций – 5,15 тыс. $\text{м}^3/\text{км}^2$.

Самая высокая продуктивность у Среднекамской провинции (18,50 тыс. $\text{м}^3/\text{км}^2$). Это обусловлено тем, что на малой площади (31785 км^2 , в ~5 раз меньше, чем у Верхнекамской) находится большое количество запасов (588403 тыс. м^3). Сильное влияние на ее высокую продуктивность оказывают Верхнекамская и Бельская провинции (рр.Чусовая и Белая).

Высокая продуктивность Нижнекамской провинции (11,01 тыс. $\text{м}^3/\text{км}^2$) обусловлена тем, что она является интегральной и аккумулирует наносы всех провинций. С точки зрения геоморфологии этому способствуют минимальные абсолютные высоты Камской долины в пределах провинции, в результате чего долина здесь является своеобразной ловушкой для обломочного материала, поставляемого водными потоками. Кроме того, реки Нижнекамской провинции (Ик, Зай и Шешма) также являются гравийеносными. Гравий этих рек отличается от гравия, поступающего с Урала, и имеет в основном карбонатно-кремнистый состав.

Низкую продуктивность Вятской провинции (1,2 тыс. $\text{м}^3/\text{км}^2$) по сравнению с другими можно объяснить геолого-геоморфологическим строением Вятского бассейна. Это и недостаточная распространенность источников питания (конгломератов, песчаников и гравелитов), и развитие водно-ледниковых отложений, состоящих из песчано-гравийного материала, на водораздельных поверхностях, где они не доступны для интенсивного размыва. Равнинный рельеф, слаборасчлененный по сравнению с горным и предгорным рельефом не обеспечивает достаточного потенциала для более интенсивного размыва и перераспределения песчано-гравийного материала. В песчано-гравийных отложениях Вятской провинции низкое содержание гравия (в среднем 17-25%). Тем не менее, отложения Вятской провинции оказывают значительное влияние на Нижнекамскую провинцию. Ниже устья р.Вятки сформированы крупные месторождения ПГМ (Борк, Сокольегорское и Смысловское) (Полянин и др., 1974).

Высокая продуктивность реки Белой (4,86 тыс. $\text{м}^3/\text{км}^2$) обусловлена в первую очередь геологическим строением территории Бельского бассейна, охватывающего Складчатый Урал, Башкирский и Татарский своды. Основная структура, поставляющая обломочный материал в долину реки это, конечно, зона Складчатого Урала, где активно шли и идут денудационные процессы. Кроме того, река Белая – очень древняя, и в неогене Палео-Белая была главной рекой, в которую впадали такие притоки как Палео-Волга и Палео-Кама (Горецкий, 1964). Площадь Бельской провинции –

139 690 км², больше, только у Верхнекамской провинции. Бельская провинция лидирует среди провинций Камского бассейна по запасам ПГМ – 679 070 тыс. м³. Средневзвешенные абсолютные отметки высот 316,1 м, их амплитуде – 1534 м, среднеквадратическое отклонение высот – 185 м. Среднее содержание гравия в песчано-гравийных отложениях по месторождениям – 58,8%. Продольный профиль реки хорошо разработан. Месторождения ПГМ в среднем течении прослеживаются сплошным шлейфом по долине реки. После того, как река спускается со Складчатого Урала, она прокладывает себе путь по Предуральской депрессии, далее по Благовещенской впадине и Борской седловине, принимая притоки, поставляющие наносы. Так, крупные притоки р.Белой (Дема и Уфа) являются гравийеносными.

Если рассматривать водосбор Верхне- и Среднекамской провинций, ее площадь составляет 186 656 км², на нее приходится запасов ПГМ 962 020 тыс. м³. Те же показатели по Бельской провинции составляют: площадь – 139 690 км²; запасы ПГМ – 679 070 тыс. м³. По продуктивности (отношению запасов к площади) показатели рассматриваемых водосборов близки – 5,15 и 4,7 тыс. м³/км² соответственно. Водосбор Верхне- и Среднекамской провинций очень схож по геологическим и геоморфологическим условиям с Бельской провинцией. Восточные притоки Камы и Белой и сама Белая берут свое начало в горах Складчатого Урала. В среднем течении притоки протекают в условиях предгорного рельефа и в нижнем выходят на равнину. Западные притоки обоих рек берут начало на возвышенностях.

Сравнивая Бельскую провинцию с Вятской, можно заметить, что площади их водосборных бассейнов и длина речной сети различаются мало: у реки Белая 139,7 тыс. км² и 20,7 тыс. км, у реки Вятка 129,0 тыс. км² и 6,6 тыс. км соответственно. Показатель густоты речной сети Белой 0,6 км/км² и Вятки – 0,5 км/км² также близки по значению. Длина основного русла Белой 1069 км, Вятки 1171 км соответственно. Однако средний уклон основного русла Белой 0,43%, Вятки 0,04%. Это обусловлено тем, что река Белая горная и полугорная в верхнем течении, а в среднем и нижнем – равнинная, а р.Вятка на всем своем протяжении река равнинная. Запасы ПГМ р.Белой ~ 625 млн м³, р.Вятки ~ 95 млн м³. Таким образом, запасы Бельской провинции более чем в 6 раз превышают запасы Вятской. Такая высокая продуктивность р.Белой объясняется особенностями геологического строения, гидролого-геоморфологическими условиями и палеогеографией.

Камский бассейн обладает средними характеристиками относительно включающих провинций. Его средняя продуктивность – 4,7 тыс. м³/км², среднее содержание гравия по месторождениям Камского бассейна – 49,3%, средневзвешенные абсолютные отметки бассейна – 231,5 м, среднеквадратическое отклонение высот по бассейну – 138,6 м. Амплитуда высот по бассейну – 1546,9 м. Потенциал Камского бассейна для выявления ресурсов ПГМ высок.

Проведен анализ приуроченности песчано-гравийных отложений к элементам долины. Фация песчано-гравийных отложений на равнинных реках, как правило, всегда является русловой. По размещению в пределах долины песчано-гравийные отложения четко различаются по размещению: на русловые, пойменные и террасовые.

Пространственный анализ распределения запасов песчано-гравийных месторождений по провинциям и по их привязке к морфологическим элементам речных долин выявляет следующие закономерности: 1) в Верхнекамской провинции преобладающее распространение имеют запасы месторождений ПГМ, приуроченных одновременно либо к руслу и пойме, либо к руслу, пойме и террасам; 2) в Среднекамской провинции преобладающее распространение имеют запасы либо террасовых месторождений, либо расположенных в русле и на пойме; 3) в Нижнекамской провинции доминируют месторождения, приуроченные только к пойме и только к руслу реки; 4) в Бельской провинции песчано-гравийные месторождения в основном развиваются на пойме и террасах; 5) в Вятской провинции ПГМ размещены либо только на пойме и только на террасах, либо одновременно на пойме и террасах.

На рисунке 3 показано распределение запасов ПГМ Камского бассейна по элементам долины.

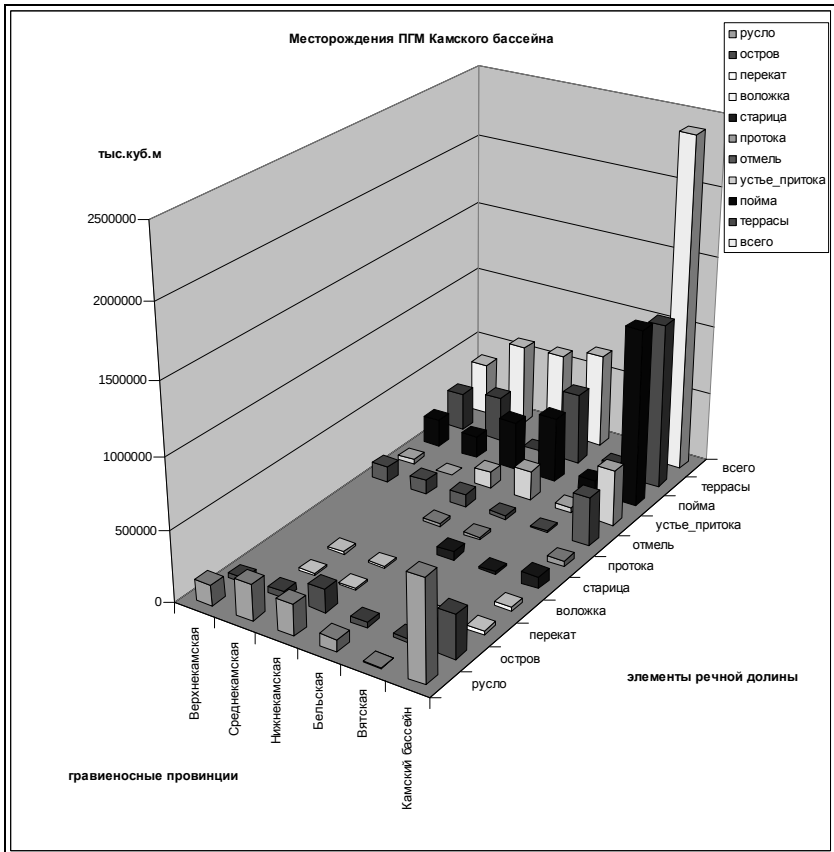


Рис. 3. Размещение запасов кат. A+B+C₁+C₂, тыс. м³ по приуроченности к элементам долины

На следующем этапе исследования проведен анализ приуроченности запасов ПГМ в пределах провинций к островам и протокам, что для Камского бассейна связано с процессами фурации, проходящими при интенсивном осадкоотложении в речных долинах. На основании проведенного анализа можно сделать следующие выводы: 1) в Нижнекамской провинции наблюдается интенсивная фурация – деление реки на рукава и образование островов, что влияет на дифференциацию аллювия и способствует формированию песчано-гравийных отложений и месторождений ПГМ; 2) в Вятской провинции на фоне сравнения общих запасов ПГМ по провинциям с запасами, приуроченными к островам и протокам, также наблюдаются интенсивные процессы отложения песчано-гравийного материала; 4) наибольшее количество запасов, приуроченных к протокам, находится в Бельской провинции, что может быть связано с достаточно разработанной, широкой долиной реки и, как следствие, с большим количеством протоков в ее пределах; 5) в Верхнекамской и Среднекамской провинциях также встречаются отложения песчано-гравийной составляющей аллювия, приуроченные к протокам и островам только на отдельных участках крупных рек, и не имеют такого широкого развития как в вышеописанных провинциях.

Проведена оценка влияния максимальных расходов паводковых вод на аллювиальные отложения. Максимальные расходы паводковых вод возрастают от истока к устью рек вместе с водосборной площадью и порядком рек. Зависимость максимальных расходов от водосборной площади почти линейная. Резко увеличиваются максимальные расходы после впадения

в главную реку крупных притоков, при этом закономерно возрастает и мощность аллювиальных отложений.

От верховьев рек к устью нарастает мощность аллювиальных отложений, но не равномерно и монотонно, а меняясь в зависимости от тектонических, геоморфологических и гидрологических условий. Для крупных рек Камского бассейна (рр. Кама, Вятка и Белая) характерно убывание содержания гравия в песчано-гравийных отложениях, связанного с удалением рассматриваемого участка от источника питания, характер продольного профиля речных долин, их строение, порядок реки и максимальные расходы паводковых вод.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1) Важными идентификационными факторами, определяющими формирование песчано-гравийных отложений, наряду с наличием источников питания и характера неотектонки, может выступать и спектр гидролого-геоморфологических факторов. К ним относится амплитуда абсолютных высот в водосборном бассейне, характер продольного профиля речных долин, их строение, порядок реки и максимальные расходы паводковых вод.

2) Решена задача выделения локальных неотектонических положительных структур, влияющих на формирование и размещение песчано-гравийных отложений аллювиального генезиса, на основе разработанной методики автоматизированного построения геоморфологических карт базисных и вершинных поверхностей и их геоморфометрического анализа с использованием цифровой модели рельефа регионального уровня генерализации. Это позволило впервые создать комплект электронных геоморфометрических карт базисной и вершинной поверхностей на весь Камский бассейн. Проведенная верификация полученных карт с геолого-геофизическими материалами показывает их хорошую сходимость. Установлена эффективность использования данного метода при поиске месторождений песчано-гравийных материалов аллювиального генезиса. Предлагаемый метод выявления неотектонических структур при совместном использовании с геолого-геофизическими повышает эффективность геологоразведочных работ и снижает их стоимость. Выделены участки долин, потенциально перспективные на формирование и размещение песчано-гравийного сырья. По итогам исследования в пределах тектонических валов и локальных поднятий установлена оптимальная зона влияния, определенная как буферная концентрическая зона, построенная в местах пересечения барьеров (осей неотектонических положительных структур) руслами рек. Размер этой зоны определяется радиусом 15 км. В нее входит 242 месторождения Камского бассейна с запасами 1 478 728 тыс. м³ (83,3% от общего количества).

3) Разработана структура комплексного геолого-географического анализа территории исследования на предмет формирования и размещения песчано-гравийных отложений. Этот анализ проводится по следующему алгоритму: 1) выявление геолого-геоморфологических и гидрологических предпосылок формирования и размещения песчано-гравийных отложений аллювиального генезиса на выделенных участках в пределах гравийносных провинций; 2) анализ продольных профилей речных долин; 3) совмещенный пространственный анализ поперечных профилей речных долин с положением неотектонических структур и месторождениями ПГМ для определения участков механической интеграции и дифференциации аллювия, на которых формируются песчано-гравийные отложения; 4) установление закономерностей распределения объема запасов песчано-гравийного материала по элементам речных долин в пределах гравийносных провинций бассейна.

Проведенный по данному алгоритму геолого-географический анализ позволил установить ряд особенностей формирования ПГМ. В неоднородном по геологическому строению бассейне р. Камы наблюдается изменчивость стратиграфических горизонтов с запада на восток, обусловленная влиянием Складчатого Урала и процессами денудации. Наибольшее распространение в пределах Камского бассейна имеют породы пермской системы. Влияние горных пород Складчатого Урала на аллювиальные отложения Камского бассейна подтверждается составом гравия, представленного яшмами, кварцами, кварцитами, песчаниками и другими твердыми горными породами, генетически связанными с уральскими. На территории исследования развиты отложения, потенциально являющиеся источниками питания для аллювиальных песчано-гравийных отложений, – конгломераты, гравелиты, песчаники пермского возраста, четвертичные пески и песчано-гравийные отложения водно-ледникового генезиса.

Перегибы продольного профиля реки являются индикаторами изменения гидродинамического режима и, как следствие, эти участки перспективны для формирования и размещения песчано-гравийных отложений аллювиального генезиса. Участки максимального отклонения реального продольного профиля реки от его усредненной математической модели также могут рассматриваться как потенциально перспективные для формирования и размещения песчано-гравийных отложений.

В пределах Камского бассейна наблюдаются процессы механической дифференциации и интеграции аллювия. Процессы механической интеграции аллювия в прослеживаются при изменении интенсивного гидродинамического режима горных и полугорных рек на более спокойный (ламинарный). Процессы механической дифференциации аллювия происходят на участках пересечения ими положительных неотектонических структур.

Важной предпосылкой формирования песчано-гравийных отложений является гидрологическая составляющая. В исследовании учитывался порядок реки и максимальный расход паводковых вод. Для принятого уровня генерализации установлено, что на горных и полугорных реках песчано-гравийные отложения могут рассматриваться как месторождения ПГМ с промышленными запасами, начиная с водотоков 3-го порядка, а на равнинных с 4-го.

4) Усовершенствована методика расчета максимальных расходов паводковых вод на малых водотоках (до расчета на средних и крупных). В ходе исследования установлено, что максимальные расходы паводковых вод возрастают от истока к устью рек и зависят от их порядка и водосборной площади. От верховьев рек к устью возрастает мощность аллювиальных отложений, меняясь скачкообразно в зависимости от тектонических, геоморфологических и гидрологических условий от 2 до 23,7 м. Непосредственно сами максимальные расходы паводковых вод влияют на общий перенос обломочного материала различной крупности реками, а не на локальные условия формирования песчано-гравийных отложений. Распределение мощности аллювия на реках Кама, Белая и Вятка неравномерное и носит волнообразный характер. Содержание в аллювии гравия на большей части месторождений возрастает с уменьшением мощности аллювия и, наоборот, уменьшается с увеличением его мощности. Прослеживается тренд уменьшения содержания гравия в пойменном и террасовом аллювии от верховьев реки к устью на всех реках. Содержание гравия в русловом аллювии Камы возрастает в нижнем течении реки и носит локальный характер. Это происходит, благодаря приуроченности песчано-гравийных отложений к островам, где содержание гравийной составляющей из-за дифференциации крупнообломочного материала на головных участках повышается, а в устье понижается. Кроме того, в пределах Нижнекамской провинции много месторождений ПГМ, приуроченных к стрежню русла и, как следствие, они имеют высокое содержание гравия.

Проведенные исследования позволяют рекомендовать для выявления перспективных площадей ПГМ аллювиального генезиса Верхнекамскую (Пермский край, в т.ч. Коми-Пермяцкий АО) и Бельскую провинции (Республика Башкортостан). Вятская провинция (Кировская область и Республика Удмуртия) перспективна для обнаружения площадей ПГМ водно-ледникового генезиса. Средне- и Нижнекамская провинции, хотя и обладают высокой продуктивностью, на сегодняшний день досконально исследованы и интенсивно осваиваются, поэтому имеют невысокие перспективы для выявления новых объектов ПГМ. Исследование также позволяет локализовать участки речных долин, перспективные для выявления залежей песчано-гравийных отложений.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах из списка, рекомендованного ВАК:

1. Ермолаев О.П., Семёнов Ф.В. Использование цифровых моделей рельефа для морфометрического анализа тектонических структур и поиска россыпей аллювиального генезиса. География и природные ресурсы №1, Иркутск, 2014. – С. 142-147.
2. Садыков Р.К., Семенов Ф.В., Бирюлев Г.Н. О нерешенных вопросах минерально-сырьевого обеспечения песчано-гравийным сырьем строительного комплекса в современной России. Строительные материалы – №5, 2013. – С. 68-72.

3. Семенов Ф.В. Возможность применения методики расчета максимальных расходов стока на малых водотоках для расчета на средних и крупных. Вестник Удмуртского Университета. Серия 6: Биология. Науки о Земле. Выпуск 3. Ижевск, 2012. – С.117-126).
4. Щербакова Т.А., Семенов Ф.В., Валькова Ю.И. Геоморфологический фактор в модели магнетитообразования в осадочных кайнозойских комплексах. Разведка и охрана недр – №2, 2015. – С. 21-24.

Прочие публикации:

5. Бирюлев Г.Н., Власова Р.Г., Семенов Ф.В. С.-П.: Минерально-сырьевая база песчано-гравийных материалов и строительных песков в Российской Федерации. Журнал современных строительных технологий «Красная линия» №51, 2011. – С. 21-26.
6. Бирюлев Г.Н., Корчагина Л.И., Семенов Ф.В. Минерально-сырьевая база кварцевых песков для стекольной отрасли, состояние и перспективы. Сборник тезисов докладов научно-практической конференции Прогноз, поиски и оценка рудных и нерудных месторождений – достижения и перспективы (20-22 мая 2008 г., Москва, ЦНИГРИ) М.: ЦНИГРИ, 2008. – С. 29.
7. Вафин Т.Р., Гайнутдинов Н.К., Семенов Ф.В., Мубаракзянова Э.Р. Геолого-экономическая оценка стекольного песка Петропавловского месторождения Томской области. Комплексное изучение и оценка месторождений твердых полезных ископаемых. Тезисы докладов третьей научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. – М.: ФГУП «ВИМС», 2011. – С. 37-39.
8. Гайнутдинова Г.Х., Семёнов Ф.В. Применение данных дистанционного зондирования земли для оценки состояния водных ресурсов. Сборник трудов V Международного конгресса «Чистая вода. Казань», 26-28 марта 2014 г.: науч.изд. – Казань: типогр. ООО «Куранты», 2014. – С. 102-105.
9. Гайнутдинова Г.Х., Семенов Ф.В. Возможность использования цифровых моделей рельефа в геоэкологических исследованиях. Сборник трудов III Молодёж.научн. конф. «Молодежь и наука Забайкалья» (г. Чита, 12-15 ноября 2013 г.), 2013. – С. 9-12.
10. Гайнутдинова Г.Х., Семенов Ф.В. Построение геоморфологических карт с использованием цифровой модели рельефа для поиска тектонических структур. V научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «Геология, поиски и комплексная оценка месторождений твердых полезных ископаемых» (Москва, 11-12 декабря 2013 г.) М., 2013. – С. 42-44.
11. Семенов Ф.В. Сравнительный анализ базисных и вершинных поверхностей с размещением месторождений песчано-гравийных смесей (ПГС) аллювиального генезиса. Журнал экологии и промышленной безопасности, Казань, №4 (52), 2011. – С.18-20.
12. Семенов Ф.В. Выявление закономерностей аккумуляции месторождений песчано-гравийных смесей (ПГС) аллювиального генезиса на примере реки Белой. Синтез знаний в естественных науках. Рудник будущего: проекты, технологии, оборудование: материалы Междунар. науч. конф.: в 2 т. / отв. ред. В.А. Наумов; Перм. гос. нац. иссл. ун-т; Естественнонауч. ин-т. – Пермь, 2011. – Т.1. – С. 193-198.
13. Семенов Ф.В., Семенов В.Ф. Применение методов математической статистики при выявлении закономерностей формирования и размещения россыпных месторождений (на примере песчано-гравийных смесей). Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского / Матер. чтений, вып. 15, Горный институт УрО РАН – Пермь, 2012. – С. 313-319.
14. Семенов Ф.В. Построение гидрографической сети неоплейстоцена морфометрическими методами. VIII всероссийское совещание по изучению четвертичного периода: «Фундаментальные проблемы квартера, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований». Сб. статей (г. Ростов-на-Дону, 10–15 июня 2013 г.). – Ростов н/Д: Издательство ЮНЦ РАН, 2013. – С. 586-588.
15. Семёнов Ф.В. Реконструкция четвертичной и неогеновой дренажной сети методом морфометрии. Геоморфология и картография: материалы XXXIII Пленума Геоморфологической комиссии РАН. — Изд-во Сарат. ун-та Саратов, 2013. — С. 555-558.
16. Семенов Ф.В. Геоморфологический метод прогноза погребенных месторождений аллювиального генезиса. Материалы Всероссийской конференции (с международным участием) «Рудообразующие процессы: от генетических концепций к прогнозу и открытию

- новых рудных провинций и месторождений», посвященной 100-летию со дня рождения академика Николая Алексеевича Шило (1913–2008). М.: ИГЕМ РАН, 2013. – С. 240.
17. Семенов Ф.В. Сравнение расчетных данных по максимальным расходам стока на водотоках с данными наблюдений – поиск поправочного коэффициента. Материалы VII Всероссийского гидрологического съезда. Секция 1 – Опасные гидрологические явления (наводнения, маловодья, сели) – оценка, прогноз, снижение рисков. Доклад №34. С.-П., 2013. <http://www.7hydro.ru/index.php/ru/agenda>.
18. Семёнов Ф.В., Гайнутдинова Г.Х. Реконструкция палеоречной сети морфометрическим методом для поиска месторождений подземных вод. Сборник трудов V Международного конгресса «Чистая вода. Казань», 26-28 марта 2014 г.: науч.изд. – Казань: типогр. ООО «Куранты», 2014. – С. 85-87.