

А. А. КОКОВКИН (ИТИГ ДВО РАН), А. В. ИВАНОВ (СГТУ),  
В. М. ТЮЛЕНЕВА, О. А. ЯКУШИНА (ВИМС),  
Л. Т. РАКОВ (ИГЕМ РАН), И. А. ЯШКОВ (СГТУ)

## Новые данные о гидротермальном метасоматозе в мелкайнозойских отложениях Средневожского правобережья

Представлены результаты изучения гидротермальных систем в мелкайнозойских отложениях Саратовско-Камышинского Поволжья на абразионном уступе Волги и на ее правобережье. В эволюционирующей структуре правобережья выделено три этапа развития гидротермальных систем – позднепалеоценовый, олигоцен-миоценовый и неоплейстоцен-голоценовый. Исследованы особенности вещественного состава и морфологии соответствующих им гидротермально-метасоматических изменений, характер их контроля сдвиговой тектоникой. Показана связь неоплейстоцен-голоценовых гидротермальных систем с вскрытыми уступом сейсмодислокациями. Результаты полевых наблюдений подтверждены данными минералогических и лабораторных исследований проб, отобранных с представительных точек наблюдений.

Ключевые слова: гидротермальная система, эволюция, модель, эпигенез, сдвиговая тектоника, сейсмодислокация.

A. A. KOKOVKIN (ITiG FEB RAS), A. V. IVANOV (SSTU),  
V. M. TYULENEVA, O. A. YAKUSHINA (VIMS),  
L. T. RAKOV (IGEM RAS), I. A. YASHKOV (SSTU)

## New data on hydrothermal metasomatism in the Cretaceous-Cenozoic sediments of the Middle Volga right bank

The paper describes the results of studying the hydrothermal processes in Cretaceous-Cenozoic sediments of the Saratov-Kamyshin Volga bank, on the Volga abrasion scarp and at its right-bank area. Three stages are distinguished in the development of hydrothermal systems of the evolutionary structure of the Volga right-bank area, namely Late Paleocene, Oligocene-Miocene and Neopleistocene-Holocene. The features of the substantial composition, and morphology of the corresponding hydrothermal-metasomatic alterations and the controlling wrench tectonics have been investigated. It is shown the relationship between the Neopleistocene-Holocene of hydrothermal systems and the seismodislocations developed at the scarp. The field observation results are validated by the mineralogical and laboratory sampling data obtained from the representative observation sites.

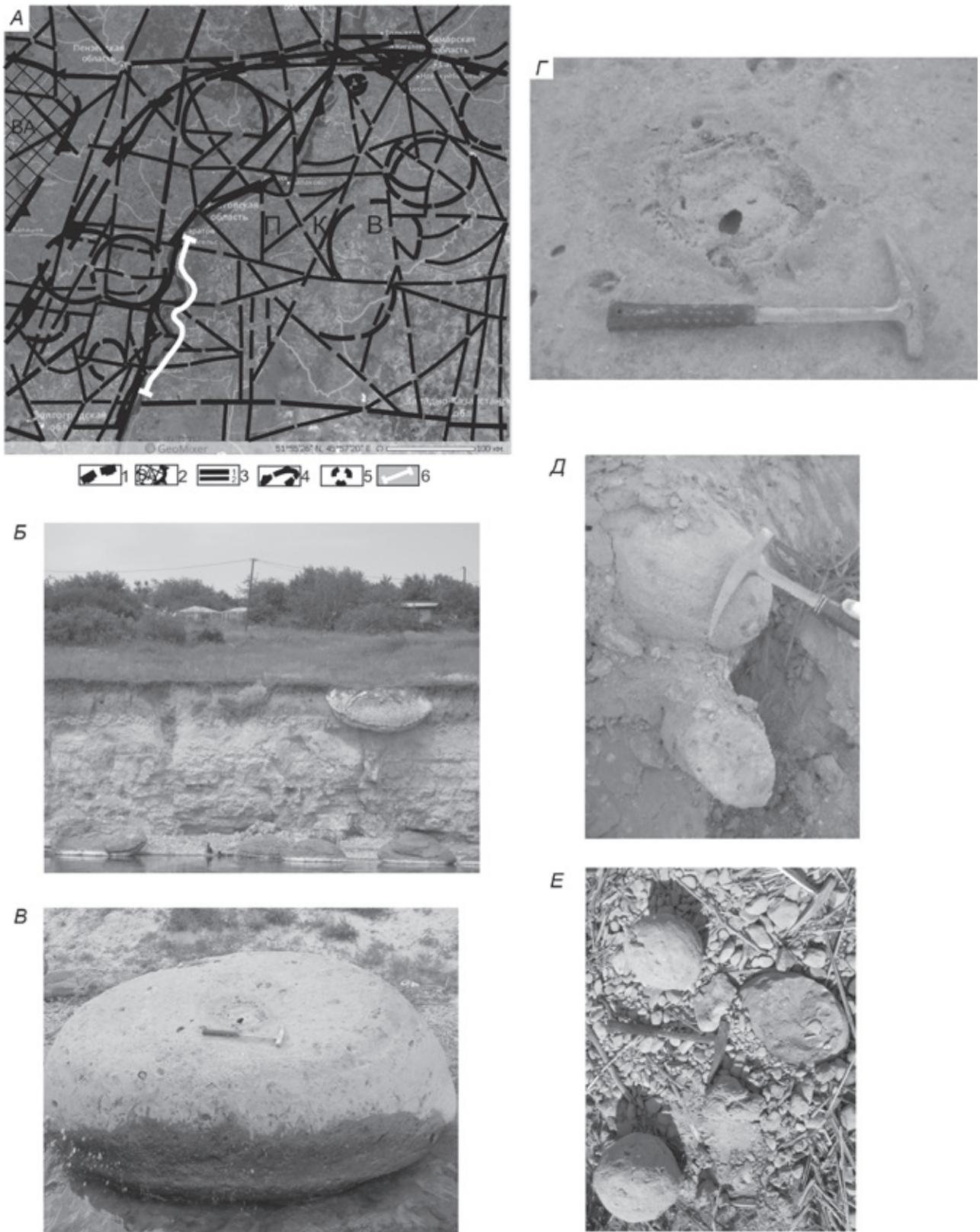
Keywords: hydrothermal system, evolution, model, epigenesis, wrench tectonics, seismodislocation.

**Введение.** В 2015 г. в рамках научно-просветительской экспедиции «Гагаринский плавучий университет» [1], организованной Саратовским государственным техническим университетом им. Ю. А. Гагарина, на участке между городами Саратов и Камышин был изучен абразионный уступ Волги с прилегающей частью правобережья. Гидротермальные системы (ГТС), действовавшие в мелкайнозойских отложениях этой структуры, оставили здесь многочисленные следы в виде проявлений гидротермального метасоматоза. Их отличает разнообразие вещественного состава, разное время формирования и нередко весьма необычная морфология гидротермально-метасоматических изменений. На уступе, с цепью его свежих, постоянно подновляемых абразией обнажений, они проявили себя особенно ярко.

Полученные в маршруте сведения позволили создать комплексную (междисциплинарную) эволюционную модель структуры Средневожского правобережья (рис. 1, А). Действовавшие на правобережье ГТС нашли в этой модели свое

вполне закономерное место. Любая геологическая, и в том числе гидротермальная, система с позиций используемой авторами синергетической методологии [4–6] является системой *открытой, самоорганизующейся, развивающейся необратимо, в нелинейном, волновом режиме.*

Для понимания характера гидротермальных систем правобережья необходимо обозначить важные особенности развития геологической структуры этой территории. Данная структура (рис. 1, А) находится в центре Альпийско-Гималайского (Средиземноморского) подвижного пояса (АГПП), в области взаимодействия мобильной мезозойско-кайнозойской рифтогенной Прикаспийской впадины с Воронежской антеклизой – взброшенным жестким блоком фундамента Восточно-Европейской плиты [9]. Прикаспийская впадина с ее морским внутриконтинентальным бассейном прошла достаточно длительный путь развития начиная с девона [10]. До конца палеоцена ее рифтогенная система занимала значительную часть прилегающей с севера Восточно-Европейской плиты, после чего заметно



**Рис. 1.** Схема дешифрирования космофотоснимков Среднего Поволжья – *А* и эллипсоиды «белых курильщиков» позднепалеоценовых ГТС, препарированные эрозией и абразией из отложений плейстоцена на уступе у г. Камышин – *Б–Е*

*А* – схема построена с использованием Google Earth и данных по новейшей тектонике (сост. А. А. Коковкин по [8–10]): 1 – реконструированный контур северо-западного борта Прикаспийской впадины (ПКВ), 2 – контур Воронежской антеклизы (ВА), 3 – разломы (1 – основные, 2 – второстепенные), 4 – контур Правобережного свода, 5 – кольцевые структуры, 6 – линия маршрута; *Б* – в верхней части уступа – эллипсоид в плейстоцен-голоценовом элювиально-делювиальном горизонте; под уступом – абразионные развалы эллипсоидов; *В, Г* – подводный канал «курильщика» в центре эллипсоида; *Д, Е* – мелкие тела эллипсоидов с подводными каналами в отложениях плейстоцена

деградировала. С этого времени развитие впадины неоднократно прерывалось активизацией орогенеза, и она не раз меняла свои контуры, сократившись в конечном счете до современного Каспия, заметно активизировавшего, впрочем, свою рифтогенную систему в конце голоцена.

Выделяемые на Волжском правобережье прогибы и поднятия, сложенные морскими отложениями карбона, мезозоя и кайнозоя, являются, по сути, структурами деформированного кайнозойским орогенезом западного борта Прикаспийской впадины. На исследованной территории проявление этого орогенеза отмечено структурой Правобережного свода, заложенного, по-видимому, в олигоцен-миоценовое время севернее Самарской Луки и осложненного многочисленными кольцевыми положительными морфоструктурами – маскированными эрозией реликтами молодых штамповых складок. Результаты проведенного моделирования свидетельствуют о весьма напряженном ее развитии вплоть до настоящего времени. Структура свода развивалась, постепенно наращиваясь к югу, под определяющим влиянием сдвиговой тектоники, с доминантой взбросовой составляющей. На схеме неотектоники А. М. Никишина с соавторами [8] Правобережный свод соответствует южному фрагменту выделенной ими системы неоген-четвертичных Поволжских поднятий. Одним из индикаторов завершающей фазы развития Правобережного свода являются реликты красноцветных осадков неоплейстоцена на его восточном борту – следы остановленной сводом Хвалынской трансгрессии Понто-Каспия.

Абразионная структура уступа формировалась водной системой Волги под влиянием глобальной ротации. Сама Волга была заложена уже на постхвалынском пенеплене в самом конце неоплейстоцена, по-видимому, не ранее 15–20 тыс. лет назад. В Среднем Поволжье ее позиция контролируется восточной границей Правобережного свода. Уступ вместе с водным потоком Волги под влиянием глобальной ротации направленно смещается к западу. Помимо ярко проявленных на уступе тектонических дислокаций широкого возрастного диапазона, он насыщен поверхностными (бескорневыми, преимущественно клиновидными) голоценовыми сейсмодислокациями. Характер этих дислокаций указывает на то, что 8–12 тыс. лет назад здесь произошло мощное сейсмическое событие (или серия сближенных событий) интенсивностью не менее 10 баллов. А примерно 200 лет назад развитыми на уступе сейсмодислокациями отмечены одно или серия новых менее интенсивных землетрясений.

Развитие Правобережного свода контролировала система субмеридиональных разломов АГПП, осложненных разломами субширотной системы. Все эти разломы имеют выраженные признаки современной активности – это *раскрытые, флюидоводонасыщенные структуры*, развивающиеся в волновом знакопеременно-сдвиговом режиме. Именно этот режим в сочетании с динамичной (волновой по определению) сейсмичностью АГПП и обеспечивает им состояние перманентной раскрытости. Заполняющие разломы глубинные флюидопотоки становятся в этих условиях источниками действующих в поверхностной зоне коры локальных гидротермальных систем.

Характер развития правобережных ГТС и особенности формируемых ими изменений определяют три основных фактора:

1. Режим волновой знакопеременно-сдвиговой тектоники этой структуры, определяющий сложнорегулированный (пульсационный) характер ее сжатия. Он периодически активизирует динамику флюидопотоков с приближением передовых зон ГТС к поверхности.

2. Высокая проницаемость преимущественно рыхлых образований мелкайнозойских осадков правобережья, во многом определившая особенности морфологии гидротермально-метасоматических изменений.

3. Проявление на уступе в раннем голоцене мощного деформационного сейсмогенного процесса, развивающегося на поверхности коры в импульсном (резонансном) режиме с образованием «бескорневых» сейсмодислокаций. Это создает условия для локальных (импульсных) выбросов гидротермальных растворов непосредственно на земную поверхность.

Первичная диагностика продуцируемых ГТС изменений с анализом их пространственно-временных взаимосвязей были выполнены в оперативном варианте по данным полевых наблюдений. Для более детальной характеристики их вещественного состава отобрано 13 представительных проб и образцов (таблица), по которым В. М. Тюленевой (ВИМС) осуществлены минералого-оптические исследования, дополненные комплексом диагностических методов в лаборатории того же института. Рентгенографический фазовый анализ (РФА) проб выполнен на рентгеновском дифрактометре X'Pert PRO MPD (аналитик А. В. Иоспе). Л. Т. Раковым проведены анализы методом электронного парамагнитного резонанса на ЭПР – спектрометре ER-420 фирмы Bruker (Германия). Этот метод позволяет регистрировать в кварце точечные дефекты, природа которых может быть связана с изоморфными примесями, вакансиями в кристаллической структуре, междоузельными атомами и их комплексами. Появление таких дефектов обусловлено специфической внутренней системы минералообразования, внешним воздействием на нее радиационных полей и режимом волновой тектоники.

Экспериментальные исследования трех образцов методом рентгеновской томографии были выполнены О. А. Якушиной на рентгеновском микромографе ВТ-50-1 (Проминтро, Россия) для изучения морфоструктурных особенностей минеральных образований и их взаимосвязей. Прибор соответствует требованиям российских регламентирующих документов по аппаратуре неразрушающего контроля и международному стандарту ASTM E1441-11. Условия съемки: микрофокусный рентгеновский источник,  $U = 100$  кВ, ток накала  $I = 2,9$  А; блок детекторов 8 каналов со сцинтилляторами CsJ (Na), веерная геометрия, шаг сканирования 3 мкм, Al-образец сравнения. Предел пространственного разрешения 5 мкм. Анализы выполнялись по оригинальной методике и согласно рекомендациям отраслевого Научного совета по методам минералогических исследований МР НСОММИ № 130. Преимущества этого метода в том, что исследование проводится оперативно, без пробоподготовки, не разрушая естественное состояние минеральных фаз. Наличие минералов с близкими оптическими характеристиками, присутствие слабокристаллизованных, «рентгеноаморфных» фаз и тонкодисперсных минералов не ограничивают применимость этого метода.

### Образцы для минералогических исследований

Номер образца	Географическая привязка	Полевое определение
2	Возвышенность Шишанка, окрестности г. Камышин Волгоградской области	Кварцевые метасоматиты внутренней зоны стенки подводящего канала ГТС с лимонитом по пириту
3	Там же	То же, в переходной зоне того же канала
4	Там же	То же, во внешней зоне
5	Уступ, с. Щербаковка Камышинского района Волгоградской области	Зона дробления в рыхлых палеогеновых отложениях с гипсом, карбонатом, опалом и гидрослюдай
7	Уступ, район с. Ахмат Красноармейского района Саратовской области	Фрагмент трубчатого тела с сульфидами, частично замещенными лимонитом
8	Уступ, район с. Нижняя Банновка Красноармейского района Саратовской области	Зона окварцевания с черным дисперсным веществом и гематитом во внешней оболочке полого раструбовидного тела в отложениях сеномана
9	Район с. Сосновка Красноармейского района Саратовской области	Тело карбонатных метасоматитов в верхнемеловых отложениях
10	Район с. Луганское Красноармейского района Саратовской области	Зона карбонатизации во врезе современного ручья с минеральным источником в верхнемеловых отложениях
11	Уступ, район с. Нижняя Липовка Камышинского района Волгоградской области	Тело «белого курлышника» с раковинами моллюсков
13	г. Саратов	Штокверк халцедон-кварцевых прожилков в осадках верхнемеловых отложениях
14	Там же	То же, с включениями опала, вкрапленностью сульфидов, гематита
15	г. Саратов, пос. Поливановка	Брекчия в кремнистом трубчатом теле
16	Там же	Кремнистое трубчатое тело

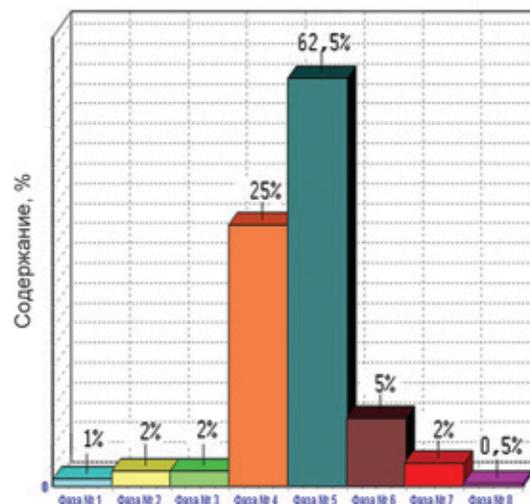
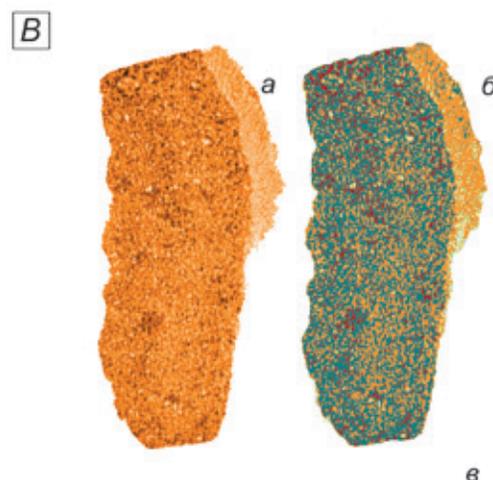
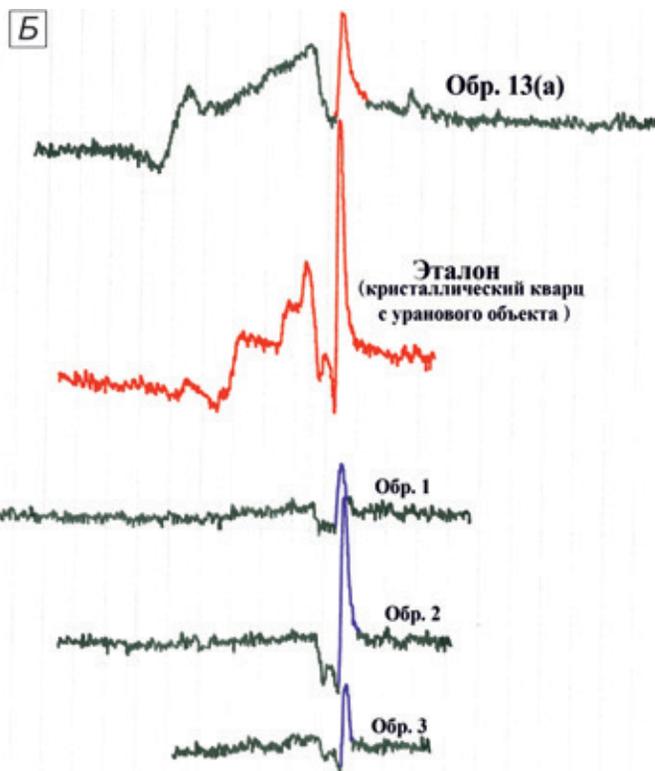
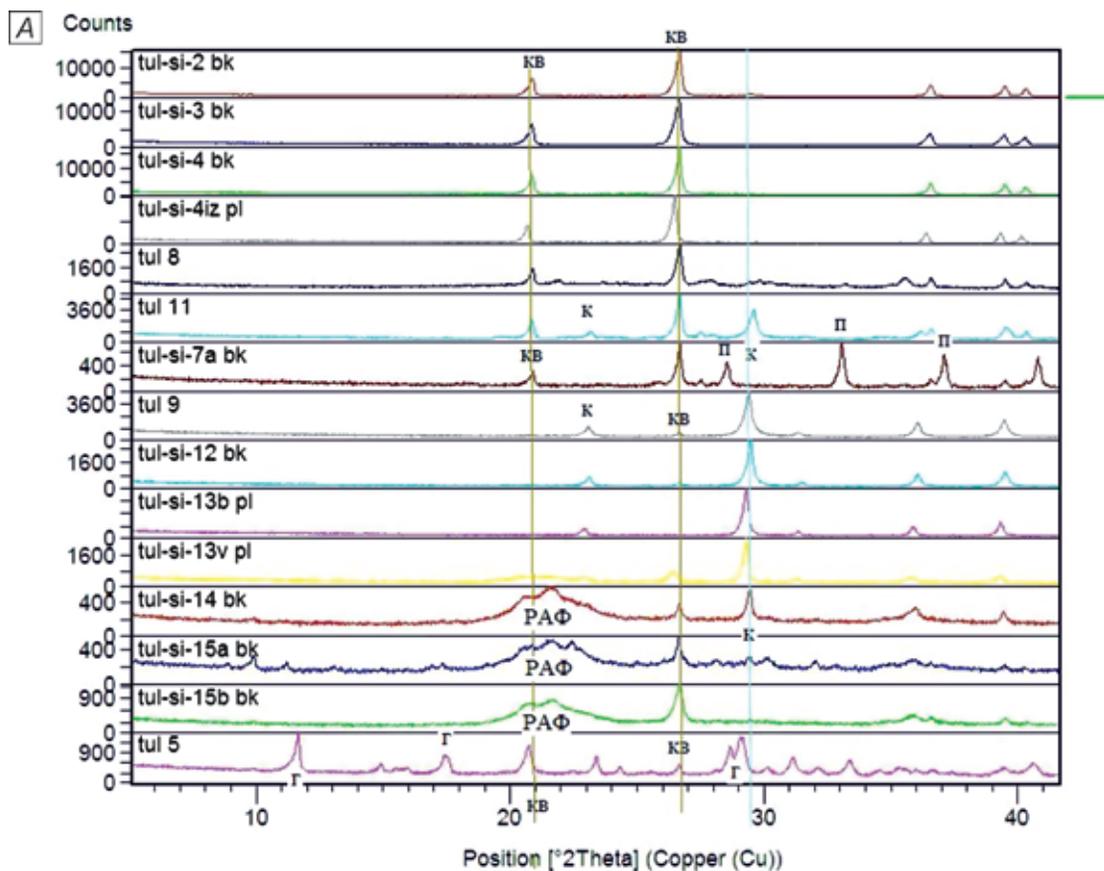
Распределение значений величины линейного коэффициента ослабления (ЛКО) рентгеновского излучения в тонком плоском слое исследуемого объекта дает информацию о фазовой неоднородности и текстурно-структурных особенностях минерального вещества. Известно, что величина ЛКО рентгеновского излучения  $\mu$  см<sup>-1</sup> определяется химическим составом и плотностью вещества для данной энергии гамма-излучения вдоль выбранного направления в плоскости сечения:  $\mu = \mu_m \cdot \rho$ , вычисляемая через массовый коэффициент ослабления гамма-излучения рассматриваемого вещества при той же энергии (см<sup>2</sup>/г) и физическую плотность вещества (г/см<sup>3</sup>). Интерпретация результатов исследования проводится по оригинальной методике диагностики элементов неоднородности (минеральных фаз). Сопоставляются отношения амплитуд ЛКО на томограмме для экспериментальной фазы и образца сравнения (алюминия, его плотность близка к плотности основных породообразующих минералов – силикатов и алюмосиликатов) с теоретически рассчитанными отношениями эффективных величин ЛКО.

**Результаты исследований.** Анализ позиции гидротермальных проявлений в эволюционирующей структуре правобережья позволил выделить три основных этапа развития гидротермальных систем: позднепалеоценовый, олигоцен-миоценовый, неоплейстоцен-голоценовый. Каждый из них характеризуется своими особенностями структурного контроля, морфологии, вещественного состава

и своим масштабом гидротермально-метасоматических изменений. Следует заметить, что при высокой насыщенности ими Правобережной структуры расшифровать нередко достаточно необычные по форме выделения было зачастую довольно непросто.

Проявления **позднепалеоценовых ГТС** весьма экзотической эллипсоидной формы (рис. 1, *Б–Г*) сконцентрированы в пляжной зоне под уступом выше и ниже Камышина. Структура Правобережной свода нарушена здесь длительно развивающейся системой субширотных разломов. Сам уступ сложен преимущественно рыхлыми осадками палеоцена (камышинская свита). Крупные тела эллипсоидов размером до 3 × 1,5 м были отмечены здесь, по данным Е. В. Милановского [7], еще в начала прошлого века академиком А. П. Павловым, который сохранил за ними местное название «караваев» и идентифицировал их как *конкреционные* образования. Ниже Камышина, где омолаживающаяся к югу структура свода менее эродирована, включения аналогичных эллипсоидов наблюдались нами на уступе также и в коренном залегании, в самой верхней части палеоценового разреза. Здесь же довольно часто встречаются и более мелкие тела (рис. 1, *Д, Е*) в форме почти идеальных шаров и удлинённых эллипсоидов (наподобие мячей для регби).

Песчаный субстрат эллипсоидов сцементирован *кальцитом* и насыщен раковинами моллюсков. В центре их имеются отверстия, полые или залеченные осадочным материалом (рис. 1, *В, Г*). Представляется, что здесь в палеоцене работала *консиди-ментальная гидротермальная низкотемпературная*



**Рис. 2. Результаты лабораторных анализов образцов (см. таблицу)**

*А* – рентгенограмма порошковых проб, *Б* – данные электронного парамагнитного резонанса, *В* – данные мРТ (размер обломков около 0,5 × 1 см): *а* – томограмма, *б* – выделение фаз (сегментация), *в* – соотношения фаз: голубое – слюды, опал; желтое – кварц; светло-зеленое – полевые шпаты; оранжевое – гидроксиды железа (гидрогетит и гетит); бирюзовое – карбонаты (2 фазы); коричневое – оксиды железа (гематит); красное – сульфиды (пирит, марказит); малиновое – оксиды металлов

струйная система типа «белых курильщиков» с многочисленными локальными трубчатыми подводными каналами. На ближней периферии восходящих струй углекислых растворов создавалась благоприятная для жизнедеятельности моллюсков обстановка с образованием вокруг них локальных плотно заселенных сообществ. Конечность размеров эллипсоидов «белых курильщиков» с локализацией их в пределах небольшого по мощности горизонта палеоцена говорит об относительно коротком времени работы каждой из струй и системы «курильщиков» в целом.

Отложения нижней части уступа интенсивно дислоцированы (местами до гигантобрекчий) и карбонатизированы. По-видимому, в них действовала *тыловая зона* гидротермальной системы, тогда как расположенные выше сингенетичные тела «белых курильщиков» формировались в ее *передовой* зоне. Развитие этой системы, очевидно, контролировала упомянутая выше система субширотных разломов. После завершения работы этой струйной системы в ходе развития Правобережного свода механически устойчивые тела эллипсоидов на его восточном борту препарировались площадной эрозией, местами до вывода на поверхность. Позднее она была вскрыта абразионной структурой уступа.

По данным микрооптических исследований обр. 11 (таблица), отобранного из небольшого тела «белого курильщика», пространство между макро-включениями раковин моллюсков заполнено остроугольными обломками кварца и небольшого количества полевых шпатов (плагиоклазы и решетчатый микроклин) размером 1–4 мм. Присутствуют также оолитовые выделения светло-зеленого глауконита; наблюдаются чешуйки слюд и сноповидные выделения гидрослюды, единичные зерна амфиболов и рутила. Перечисленные минералы сцементированы преимущественно кальцитом. Тип цементации – базальный. Кальцит корродирует обломочные частицы. В незначительном количестве в цементе присутствуют кристобалит и опал, фиксируются дисперсные выделения пирита. Наличие в составе породы глауконита может свидетельствовать о морских течениевых отложениях мелководья, а его светло-зеленый цвет – о выносе железа. Кластический кварц и кальцит в цементе хорошо выделяются на рентгенограмме (рис. 2, А). Опал (рентгеноаморфная фаза) на ней не визуализируется. Гало на рентгенограмме, относящееся к опалу, проявляется слабо. Это связано с его относительно невысоким содержанием при, напротив, высоких содержаниях в породе обломочного кварца и цементирующего кальцита. Последние дают наиболее высокие по интенсивности аналитические отражения.

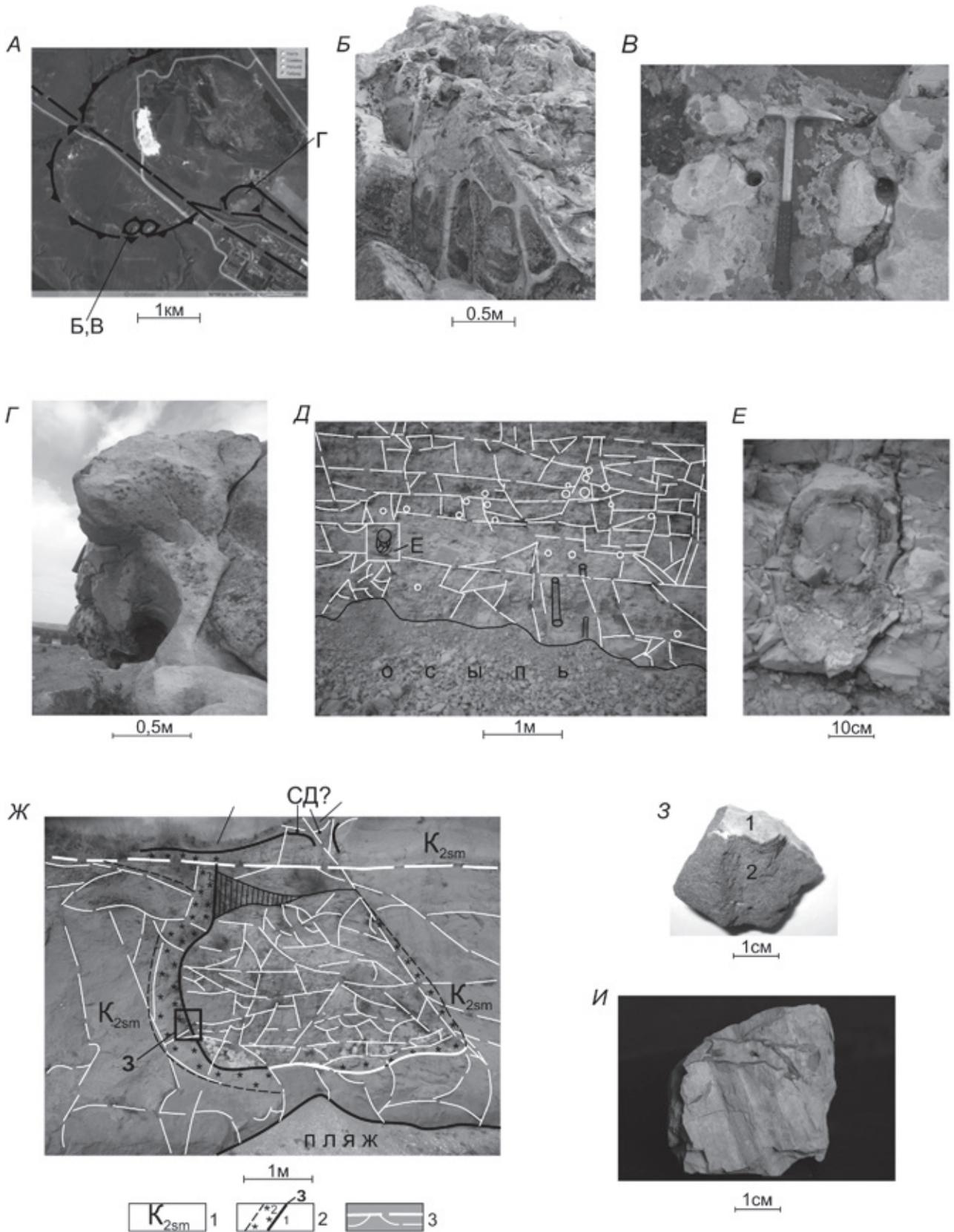
**Олигоцен-миоценовые гидротермальные системы** получили на правобережье значительно более широкое развитие. Они характеризуются преимущественно кремнекислым составом растворов. Данными ГТС сформированы проявления гидротермальных метасоматитов пяти морфологических типов:

- крупные тела кольцевой морфологии,
- скопления небольших трубчатых тел цилиндрической формы,
- трубчатые тела усложненной раструбовидной морфологии,
- штокверково-жильные образования,
- проявления очагового (объемного) метасоматоза.

**Кольцевые тела кремнистых метасоматитов** расположены в 5 км северо-западнее Камышина. В рельефе они выражены тремя округлыми в плане возвышенностями – Ухо-1, Ухо-2 и Шишанка (рис. 3, А–Г). Две первых – диаметром 200 м, третья (расположенная к западу от них) – около 600 м. На космоснимках все три возвышенности выражены кольцевыми морфоструктурами. Расположены они в поле рыхлых палеоценовых песков камышинской свиты, в южной части более крупной и объединяющей их кольцевой структуры. Возвышенность Шишанка имеет плоскую, выровненную плейстоцен-голоценовой эрозией поверхность, у двух других поверхность неровная. Это связано, по-видимому, с различной (первичной) позицией сформировавшей их ГТС в разрезе вмещающих осадков и соответственно с разным уровнем их эрозии. Гидротермальная природа этих образований впервые была отмечена Г. И. Худяковым [11] и более подробно проанализирована затем в работах [2, 3 и др.].

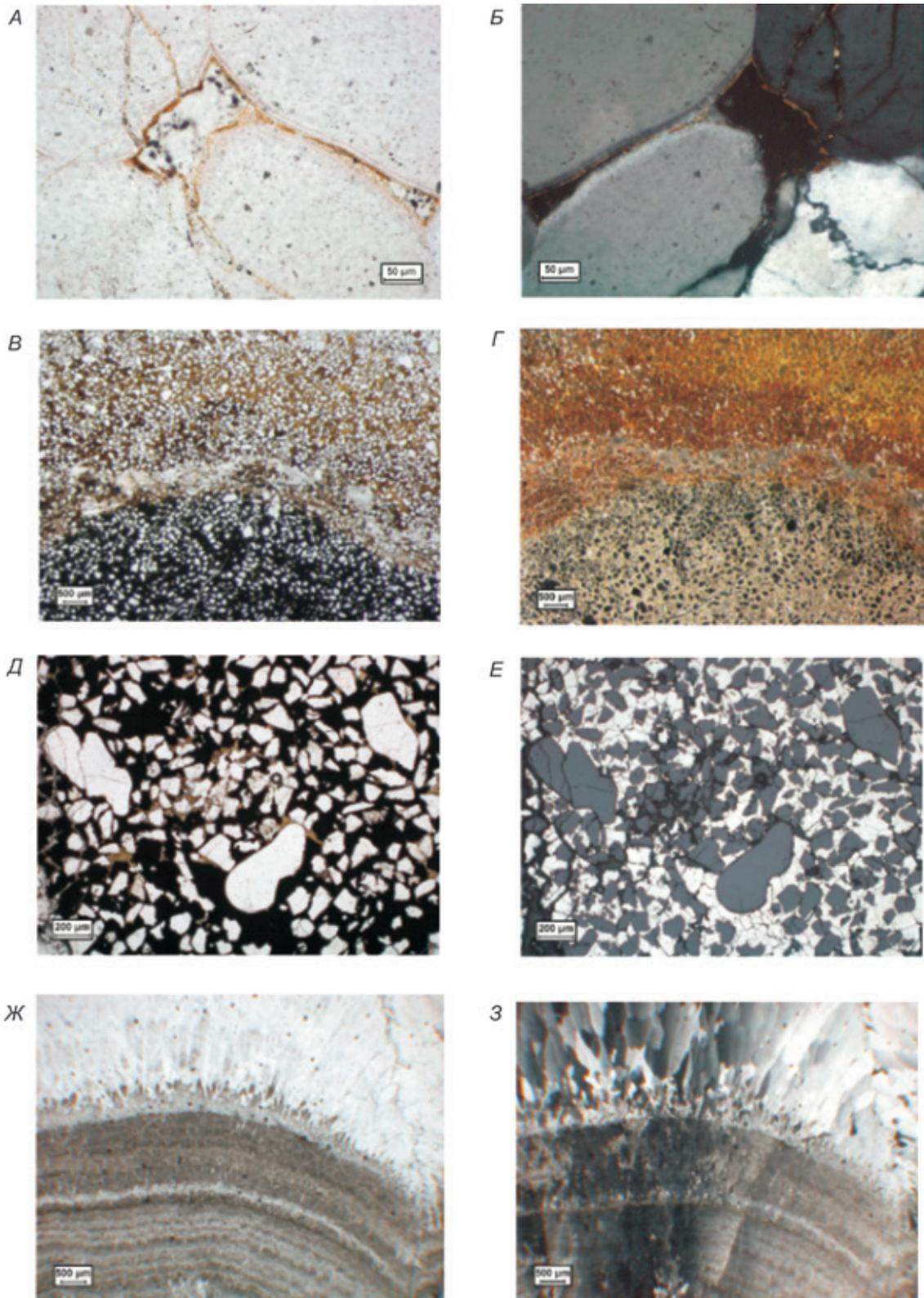
Все три структуры сложены агрегатом халцедоновидного кварца с крайне сложной внутренней ячеистой структурой и с выраженными элементами фрактальности. Эта ячеистость начинает фиксироваться в них еще на космоснимках, на макроуровне. При более близком рассмотрении видно, что внутренняя структура этих кремнистых построек представлена переплетением открытых полостей разного (от сантиметров до первых метров) размера с прихотливо изогнутыми стенками. По форме они действительно напоминают ушные раковины (рис. 3, Б). В свою очередь эти полости группируются в более крупные ячеистые системы. Стенки ячеей дополнительно осложнены трубчатыми (полыми) полого изогнутыми каналами диаметром до  $n \times 10$  см (рис. 3, В, Г). Эти каналы фиксируют поступление самых последних порций силикатных растворов. Внешние контакты кремнистых построек с вмещающими их рыхлыми песками резкие, в зоне одного метра. На Ухо-1 пески в пределах этой зоны, непосредственно у контакта с метасоматитами, уплотнены до песчаников.

По данным РФА (рис. 2, А) порошковых проб, отобранных из возвышенностей Ухо-1 и Шишанка, формирующие их метасоматиты сложены в основном кварцем. В значительно меньших количествах присутствует рентгеноаморфная фаза (опал), кальцит и КПШ. В шлифах под микроскопом (рис. 4, А, Б) наблюдается кластический материал, представленный зернами кварца и единичными частицами полевого шпата, размер зерен 0,4–0,8 мм, сцементированный силикатными образованиями. Кварцевый агрегат характеризуется пленочным, иногда поровым и соприкасающимся типами цементации, реже отмечается цементация типа вдавливания. Вокруг зерен кварца образуются тонкие регенерационные каемки, в основном опаловые. Местами по периферии новообразованного опала развиваются тонкие агрегаты дисперсных выделений чешуйчатых слюд (в скрещенных николях они слабо плеохроируют), фиксируются также бурые гидроксиды железа. Выделения опала локализуются и в интерстициях кварцевых зерен. В виде секущих микропрожилков отмечаются агрегативные образования тонкозернистого кварца. Наблюдаются единичные включения рудных минералов (возможно, окисленный магнетит)



**Рис. 3. Кремнистые метасоматиты олигоцен-миоценовых ГТС**

*А–Г* – метасоматиты гор Ушей в окрестностях г. Камышин: *А* – общий вид из космоса (с использованием Google Earth), белое пятно – вскрытые карьером рыхлые пески палеоцена, *Б* – сетчатая структура метасоматитов возвышенности Ухо-1, *В*, *Г* – полые подводящие каналы метасоматитов; *Д*, *Е* – трубчатые тела кремнистых метасоматитов в районе г. Саратов; *Ж*, *З* – выход растробовидного тела на уступе в районе с. Нижняя Банновка: *Ж* – общий вид тела (1 – пески сеномана, 2 – южная стенка раструба с контрастной внутренней границей (31–2) внешней зоной лимонитизации; 3 – разрывные нарушения), *З* – фрагмент южной стенки с кремнистой коркой (1) и кремнисто-гематитовой оторочкой (2); *И* – фрагмент кремнистого штокверка в меловых отложениях севернее г. Саратов



**Рис. 4. Микрофото шлифов метасоматитов**

*А, Б* – кварцевые метасоматиты внутренней зоны стенки подводящего канала кремнистой ГТС возвышенности Шишанка (обр. 2). Шлиф прозрачный (*А* – николи II; *Б* – николи +). *А* – кварциты по пескам. Зерна кварца – с каемками регенерации по периферии. Бурое на *А* – гидроокислы Fe. Секущие микропрожилки выполнены тонкокристаллическим кварцем. Черное на *Б* – выделения опала.

*В–Е* – фрагмент трубчатого тела с пиритом, частично замещенным лимонитом (обр. 7). Шлиф комбинированный. Агрегат тонкокристаллического пирита (черное в проходящем свете на *В, Д*) цементирует зерна кварца, КПШ и плагиоклаза (светлое на *А, В, Д*). На *Г* в периферической зоне вверху – гидроксиды Fe (красно-бурое). На *Е* (отраженный свет) – агрегаты кристаллов пирита (белое).

*Ж, З* – тело карбонатных метасоматитов (с. Сосновка). Шлиф прозрачный, проходящий свет (*Ж* – николи II, *З* – николи +). Образования типа мраморного оникса. Темное на *Ж, З* – тонкополосчатые (от скрытокристаллических до тонкозернистых) карбонатные образования, обрастают агрегатами радиально-лучистых кристаллов кальцита

и чешуйчатых пластинчатых слюд. Исследования с применением метода электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), как и данные микрооптического изучения, фиксируют неполную раскristаллизацию кремнезема в метасоматитах структур Ухо-1 и Шишанка.

На рис. 2, Б узкие линии в спектрах ЭПР обусловлены *E*-центрами, представляющими собой одиночные кислородные вакансии в структуре кварца. Для контраста на разных спектрах они выделены различным цветом. Появление таких дефектов может быть обусловлено как радиационным воздействием на минерал, так и специфической условий его образования. В первом случае в кварце наряду с *E*-центрами возникают другие радиационные дефекты, имеющие более сложное строение. Как правило, они связаны с ассоциацией кислородных вакансий с иными структурными дефектами. Типичный спектр ЭПР дефектов радиационного происхождения выделен красным цветом. Он характерен для образцов кварца с урановых объектов. Кроме линии *E*-центров на нем присутствует группа линий радиационных дефектов сложного строения, расположенная слева от нее. Если же *E*-центры имеют нерадиационную природу, то линии других радиационных дефектов в спектре ЭПР отсутствуют. Именно этот случай наблюдается для исследованных образцов. В них метод ЭПР регистрирует *E*-центры, но других радиационных дефектов не обнаруживает. Отсюда следует вывод, что к возникновению одиночных кислородных вакансий в изученных образцах кварца приводит неполная раскristаллизация кремнезема. Наиболее наглядно она проявляется в спектре ЭПР обр. 13(а). Группа линий, обозначенная черным цветом, отвечает дефектам, локализованным в зонах слабоупорядоченной структуры.

**Скопление небольших трубчатых тел** халцедон-опалового состава диаметром до 0,5 м обнаружено в карьере западнее Саратова, у пос. Поливановка (рис. 3, Д, Е). «Трубки» имеют почти идеально цилиндрическую форму с концентрически-зональным внутренним строением и различную (от вертикальной до субгоризонтальной) ориентировку. Приконтактовые зоны этих тел обогащены синевато-черным дисперсным органическим рентгеноаморфным веществом (возможно, битумом). Вмещающие эти «трубки» верхнемеловые горизонтально-слоистые мергели заметно литифицированы (окремнены) и разбиты крутыми и послойными трещинами, многие из которых также залечены тонким халцедон-опаловым агрегатом.

По данным оптической микроскопии, «трубки» сложены тонким пелитоморфным материалом силикатно-глинистого состава с небольшим количеством карбоната, включениями зерен кварца и полевого шпата. Встречаются также довольно многочисленные оолитовые выделения глауконита, тонкопластинчатые слюды и частично окисленный пирит (и/или марказит). Нижняя часть самой крупной трубки (рис. 3, Е) сложена брекчией. Ее обломки того же (существенно кремнистого) состава, что и основного тела, неравномерно обогащены черной тонкодисперсной органикой и цементированы кремнистым агрегатом. По данным РФА (рис. 2, А, обр. 15, 16), основной составляющей этих трубчатых тел является рентгеноаморфная фаза (опал) с тридимитом и кристобалитом. Присутствуют также кварц, гидрослюды, каолинит,

цеолиты (клиноптилолит), не исключено развитие гидроалюмосульфатов (типа ростита).

Фрагменты двух еще более экзотичных и значительно более крупных тел **усложненной трубчатой (раструбовидной) формы** обнаружены на уступе в районе с. Нижняя Банновка Красноармейского района Саратовской области. Самое крупное из них диаметром около 5 м представлено на рис. 3, Ж, З. Вмещающие его глинистые пески и алевроиты сеномана дислоцированы и слабокарбонатизированы. Система деформировавшихся их разрывных нарушений в целом конформна структуре этого тела. Верхняя часть раструба деформирована субмеридиональным левосторонним сдвигом, срезана поверхностью постхвалынского пенеплена и перекрыта неоплейстоцен-голоценовым элювиально-делювиальным горизонтом. В основании этого горизонта содержится перераспределенный (со смещением к югу) материал лимонитизированной внешней оторочки тела. Его боковой (северный) контакт деформирован крутым субширотным нарушением. Внутри раструба заполнен брекчией вмещающих его глинистых псков сеномана.

Южный (не нарушенный тектоникой) контакт этого экзотического тела с вмещающими осадками также весьма необычен (рис. 3, З). Он представлен тонкой (1–2 мм), выдержанной бледно-зеленой стекловатой корочкой. В экзоконтакте эту корочку сменяет 5-сантиметровая коричневая промежуточная оторочка с несколько более мощной (до 0,5 м) внешней зоной желто-бурой окраски. Стекловатая корочка, по данным оптической микроскопии и РФА, сложена агрегатом кварца и опала. Кварцевые пески в оконтуривающей ее экзоконтактовой (коричневой) оторочке слабоцементированы тонкими пленками бесцветного кварца с пылеватым гематитом на их поверхности. За счет гематита эта промежуточная зона и приобрела коричневатую окраску. В цементе также развивается кальцит, иногда с оолитовым строением агрегатов и образованием микропрожилков. Внешняя желто-бурая зона является наиболее поздним образованием. Своей окраской она обязана лимониту, заместившему гематит в развивающейся на уступе зоне современного поверхностного окисления.

Характер всех этих трубчатых тел свидетельствует об их гидротермальной природе и импульсном режиме формирования. Похоже, что здесь мы имеем дело с трубками взрыва, **диатремами**, точнее – со сложноорганизованными диатремными системами, с их передовыми зонами.

Достаточно широко проявлены на правобережье и более привычные для геолога **жильно-штокверковые формы** эоцен-голоценовых гидротерм переменного, нередко довольно сложного состава. Пример штокверково-жильных проявлений наблюдался нами в трех километрах южнее Щербаковской дислокации. Здесь на уступе широкое развитие получили зоны дробления с гипсом, карбонатом, опалом и гидрослюдой. По данным РФА (обр. 5), в них присутствуют также кварц и ярозит, отмечаются гематит, цеолиты и глинистые минералы. В шлифе наблюдаются агрегаты гипса и глин с многочисленной вкрапленностью пирита (с признаками окисления). За счет развития ярозита отдельные зоны дробления приобретают охристо-желтый цвет.

На западной окраине Саратова в меловых осадках обнаружен штокверк халцедон-кварцевых прожилков с кальцитом и гематитом (рис. 3, И, обр. 13). В центральной части образца локализуется жеода сложного строения, сложенная кристаллами кальцита (пр. 13 б), в периферической зоне по стенкам полости — корочка мощностью ~ 3–4 мм кремнистых образований (опал, кристобалит, тридимит, кварц), на поверхности которых локализируются микрокристаллы гематита (пр. 13 в). Более раннее образование — кварц-опаловый агрегат, затем выделяется кристаллический гематит, а самый поздний минерал, отложение которого, вероятно, связано с остаточными растворами, — кальцит. По данным РФА, здесь среди кремнистых образований предполагается присутствие минеральной фазы со структурным типом *коэсита*. Эта модификация кремнезема является очень редким минералом и образуется при очень высоких давлениях, а в случае его уменьшения переходит обратно в кварц (поэтому он сохраняется только при быстром подъеме пород к поверхности в мантийных ксенолитах эклогитов, а также известен в местах падения метеоритов). Следует заметить, что северо-западнее Саратова имеется выраженная на космоснимке кольцевая структура диаметром около 5 км, которая может интерпретироваться как потенциальная астроблема.

**Неоплейстоцен-голоценовые ГТС** получили широкое распространение на исследованном нами восточном борту Правобережного свода на участках повышенной проработки его осадков неоплейстоцен-голоценовой тектоникой и сейсмотектоникой. В районе с. Белогорское развита сложноорганизованная система *раннеголоценовых поверхностных сейсмодислокаций с бульдозингом, клиновидными формами и сопровождающей их приповерхностной карбонатизацией*. В зоне бульдозинга в белые, интенсивно дробленные мергели турона, надвинутые на глинистые пески сеномана, затянута деформированные клинья этих песков, а наверху также и осадки неоплейстоцен-голоценового элювиально-делювиального горизонта. Приповерхностная часть этой дислокационной структуры дополнительно осложнена клиньями раннеголоценовых сейсмодислокаций (СД) и карбонатизирована (рис. 5, А). Карбонатом неравномерно проработана вся ее поверхностная часть. При этом вниз от зоны сплошной карбонатизации в дислоцированные отложения турона и сеномана распространяются выклинивающиеся на глубину «хвосты» карбонатного штокверка. Сами клинья СД также проработаны конформным им штокверком тонких карбонатных прожилков.

Такое пространственное совмещение двух различных образований (СД + карбонат) указывает и на их единую природу. Очевидно, что здесь при образовании сейсмодислокаций, вложенных в субвертикальную зону разрывных нарушений, был активизирован и глубинный флюидопоток с импульсным выбросом карбонатных растворов в поверхностную зону коры. Для объяснения такого выброса была привлечена *резонансная модель корового землетрясения* [4]. В соответствии с этой моделью все наблюдаемые на поверхности коры сейсмодислокации возникают в результате резонанса наиболее энергоемких поверхностных сейсмических волн (волн Рэлея и/или Лява), развивающихся на

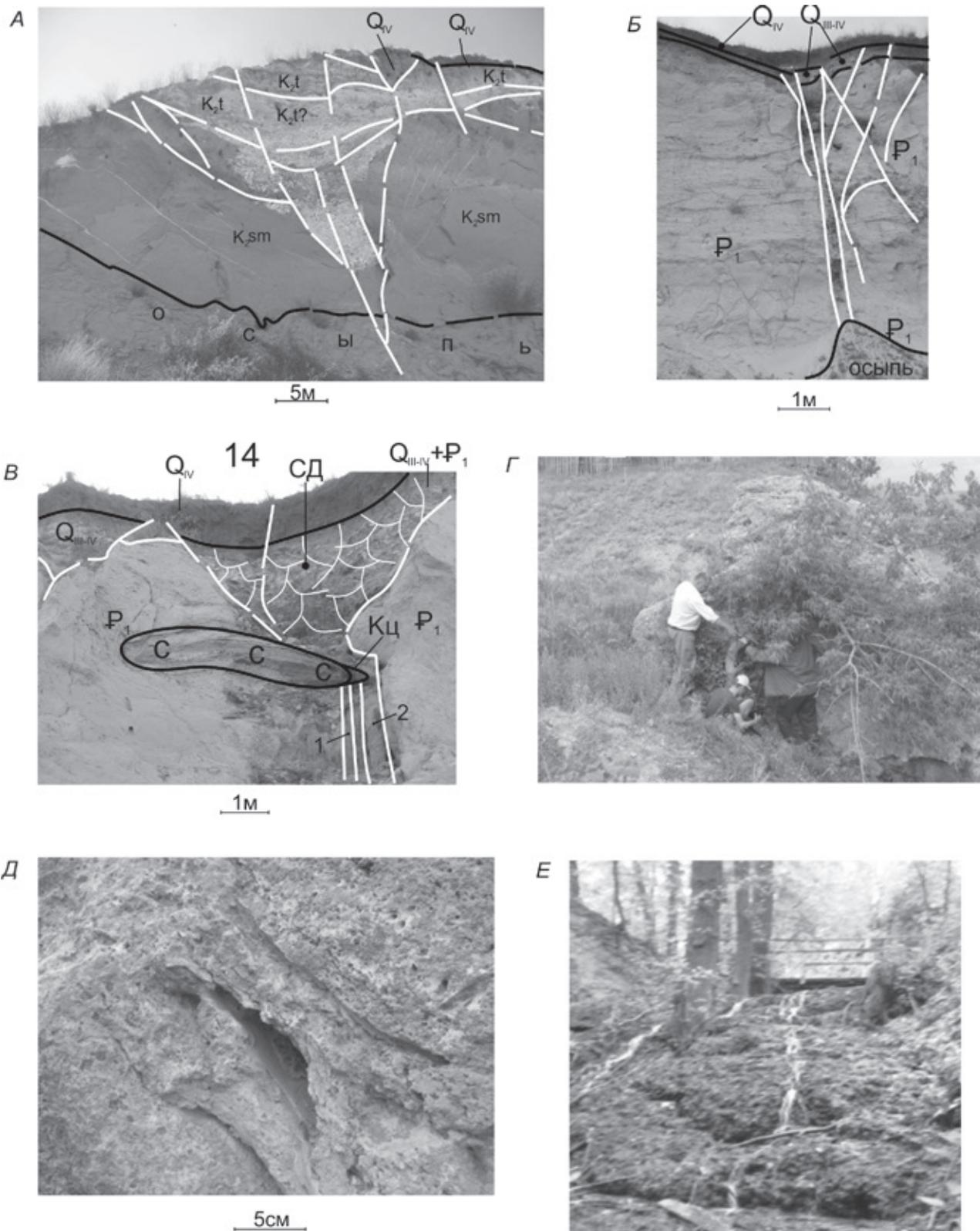
границе земля–воздух с действующим на ней комплексным (фазовым, динамическим, плотностным) барьером. Контрастность этого барьера резко усиливается в неоднородной структуре континентальной коры на границах более локальных образований разной плотности и разного фазового состава, где действуют дополнительные барьеры.

Особенно благоприятна для развития резонансных эффектов граница вода–суша с высокими береговыми уступами океанов, морей и рек, где работают наиболее контрастные барьеры. Именно такой градиентной границей и является восточный борт Правобережного свода с наложенным на него абразионным уступом Волги. Контрастность действующего здесь барьера дополнительно усиливается на участках, где свод проработан новейшими (раскрытыми и обводненными) разломами. Такие участки отличаются аномально высоким напряженно-деформированным состоянием и повышенной обводненностью среды. При воздействии поверхностного энергетического импульса в ней неизбежно должен сработать механизм реактивной отдачи. Эта практически несжимаемая среда делает отдачу особенно резкой. Наиболее мощные импульсы вполне способны не только деформировать поверхность коры, но и обеспечить выброс на поверхность также и ее глубинных (в данном случае углекислых) растворов, сформировав конформные сейсмодислокациям низкотемпературные метасоматиты соответствующего состава. Модель подобного выброса карбонатных растворов разработана на примере астроблем Намибии и Казахстана [5]. Формирование их деформационных структур, образовавшихся в результате реактивной отдачи коры на удар астероидов, также сопровождалось выбросом карбонатных растворов в поверхностную зону коры и непосредственно на ее поверхность.

В песках сеномана ниже зоны поверхностной карбонатизации на уступе развиты также скопления небольших (диаметр до 30 см) *трубчатых тел, выполненных сульфидами* (пирит, марказит) с замещающим их лимонитом и ярозитом. Возможно, они образовались в тыловой зоне ГТС, передовая (поверхностная) часть которой имела карбонатный состав. Следует заметить, что на уступе подобные трубчатые тела в песках сеномана получили достаточно широкое распространение — именно там, где его отложения характеризуются повышенной дислоцированностью.

По одной из таких «трубок» (таблица, обр. 7) проведен комплекс оптико-минералогических и лабораторных исследований. Под микроскопом в составе трубчатого сульфидного тела отмечаются обломочные зерна кварца и в меньшей мере КПШ (рис. 4, В–Е). Наблюдаются также обособления хлорита, отдельные пластинчатые выделения слюды. Обломочные частицы сцементированы агрегатом пирита с единичными кристаллами марказита. Диагностика подтверждена данными РФА и микрофотографии (рис. 2, А, В).

В 12 км ниже Камышина на уступе, в пределах упомянутой субширотной зоны разлома, развита система субвертикальных *полых трубчатых тел* диаметром около 20 см со слабоуплотненными карбонатом стенками (рис. 5, Б). Они пронизывают толщу палеоценовых отложений уступа на всю его высоту с выходом под современный почвенный слой. Некоторые из них и заполнены сыпучим материалом этого слоя. Можно с большой степенью



**Рис. 5. Карбонатные метасоматиты голоценовых ГТС (разрывные нарушения выделены белым цветом)**

Светлое на *A* – поверхностная штокверковая карбонатизация, сопровождающая раннеголоценовую клиновидную сейсмодислокацию; *B, B* – трубчатые тела: *1* и *2* на *B* – подводящие каналы карбонатных растворов в отложениях палеоцена, нарушенных раннеголоценовой тектоникой и сеймотектоникой; *Г, Д* – препазированное эрозией тело карбонатных метасоматитов в отложениях мела (с. Сосновка); *Е* – карбонатизация современного аллювия и меловых отложений бортов ручья с минеральным углекислым источником в верховьях

вероятности предположить, что эти полые трубки представляют современные образования — до конца не реализованную переходовую зону расположенной ниже флюидной системы.

Более высокую активность таких полых трубок иллюстрирует рис. 5, В. Здесь рыхлые пески палеоцена нарушены серией сближенных вертикальных разрывных нарушений. К ним приурочены полые трубчатые каналы с уплотненными более проработанными карбонатом стенками. В верхнюю часть уступа здесь вложен клин сейсмодислокации с затянутым в него рыхлым материалом неоплейстоцен-голоценового элювиально-делювиального горизонта. Контакты клина с вмещающими осадками палеоцена сорваны. Перекрывающий этот клин почвенный слой снизу слабо (но заметно) деформирован. Под СД, ближе к центру уступа, к системе полых трубок примыкает субгоризонтальное тело сидерита с ближней к трубке кальцитовой оторочкой. В данном случае полые трубки, вероятно, успели поработать в качестве транспортера карбонатных растворов. Этому, очевидно, способствовало наличие здесь сейсмодислокации с выраженными признаками голоценового возраста. При ее образовании здесь, вероятно, был активизирован спонсированный эти трубки глубинный флюидопоток.

В районе с. Луганское Красноармейского района Саратовской области, в верховьях самого крупного на Саратовско-Камышинском побережье Мордовского оползня, в отложения верхнего мела врезано русло небольшого современного ручья, образованного действующим минеральным источником. Борта и русловой аллювий этого ручья, содержащий многочисленные включения остатков современных растений, *проработаны карбонатом до уровня крепких конгломератов кавернозной текстуры* (рис. 5, Е).

Ближе к уступу, в 5 км восточнее, в центре с. Сосновка Красноармейского района Саратовской области, на борту современного оврага лежит крупное (около 6 м) экзотическое тело *кавернозных конгломератов с включениями современной флоры*. Здесь они еще более интенсивно карбонатизированы и, помимо этого, пронизаны многочисленными прожилками кальцита (рис. 5, Г, Д). В шлифе под микроскопом (рис. 4, Ж, З) это интенсивно карбонатизированная тонкокристаллическая, пелитоморфная карбонатная порода с включениями зерен кварца, полевого шпата, глауконита, микрофауны, а также микровключениями сульфидов, гидроксидов железа. Кальцит замещает породу по массе и по прожилкам, формирует радиально-лучистые, концентрически-зональные образования типа мраморного оникса. По данным рентгеновской микромографии, в составе глыбы установлены две минеральные формы карбонатов. Преобладает кальцит, которому подчинен манганокальцит, содержащий более тяжелые катионы в соотношении 48 и 35 % соответственно. Присутствуют также полости и трещины с более рыхлыми, слабопоглощающими минеральными фазами — слюдами, слоистыми алюмосиликатами.

**Заключение.** Проведенные исследования свидетельствуют о том, что в мелкойнозойских отложениях новейшей структуры Правобережного свода с конца палеоцена до наших дней действовала сложноорганизованная гидротермальная система. Ее развитие контролировали активно развивающиеся в это время широтные и меридиональные разломы

Альпийско-Гималайского пояса. В ходе эволюции эта система меняла состав своих растворов с углекислого в конце палеоцена (когда работала система «белых курильщиков») на существенно кремнекислый (с  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$ ) в эоцене (индикаторы — образования Камышинских возвышенностей, кремнистые трубчатые тела района Нижней Банновки и Саратова) и снова на углекислый в конце плейстоцена и в голоцене.

Пульсационная система «белых курильщиков» действовала на ранней стадии развития Правобережного свода в условиях относительно спокойного геодинамического режима. В эоцене наращивание сжатия в активно развивающейся структуре Правобережного свода сопровождалось активизацией контролирующих его разломов и их флюидопотоков на более глубинном уровне. Его гидротермальная система функционировала в это время намного активнее, с более выраженным пульсационным (импульсным) режимом, формируя достаточно крупные тела кремнистых метасоматитов кольцевой структуры. Некоторые из них имеют выраженные признаки диатрем.

Развитие плейстоцен-голоценового низкотемпературного метасоматоза вызвано региональной активизацией структуры Альпийско-Гималайского пояса на рубеже плейстоцен—голоцен, сопровождающейся заметной активизацией его разломных систем и резким усилением сейсмичности, отмеченным на правобережье Волги многочисленными сейсмодислокациями. В зонах активизированных разломов развитие некоторых крупных сейсмодислокаций сопровождалось импульсной активизацией глубинных флюидопотоков с выбросом углекислых растворов на поверхность.

Восточный борт Правобережного свода в его современном состоянии приобрел под влиянием совокупности динамично взаимодействующих эндогенных и экзогенных систем достаточно сложное, ступенчатое строение. Самые высокие ступени соответствуют здесь блокам, взброшенным в неоплейстоцене — раннем голоцене и/или сложенным более устойчивыми к эрозии отложениями, проработанными эоценовым (кремнекислым) метасоматозом. Реликты неоплейстоценовых хвалынских красочцветов сохранились здесь лишь на самых нижних ступенях, сброшенных уже в постхвалынское время. В настоящее время эти просаженные ступени дополнительно эродируются современными правыми притоками Волги и развитой на их бортах овражной сетью.

Волжский правобережный уступ представляет идеальный не востребованный ранее исследовательский полигон для изучения новейших гидротермальных систем. На уступе они оставили ярко выраженные следы, постоянно подновляемые и пополняемые Волжской абразией. Установленный проведенными исследованиями непростой характер взаимосвязей ГС с другими эндогенными и экзогенными системами предполагает междисциплинарный характер работ на этом полигоне.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-05-00097) и Минобрнауки России (инициативный проект 5.5177.2017/8.9); по комплексной научно-инновационной программе СГТУ на 2016–2018 гг. (направление 15В «Изучение фундаментальных экологических закономерностей функционирования и эволюции

природно-техногенных систем, обеспечение безопасности, оценка туристического потенциала: региональные и глобальные аспекты»; программе развития опорных университетов на 2017–2021 гг.

1. Гагаринский плавучий университет: Научно-просветительская экспедиция по Саратовско-Волгоградскому Правобережью. Путевые фотоочерки / А.В. Иванов, И.А. Яшков, А.А. Коковкин, А.П. Исаченко. — М.: Университетская книга, 2015. — 200 с.

2. Иванов А.В. Палеоэкологические особенности кайнозойских гидротерм Нижнего Поволжья // Коэволюция геосфер: от ядра до Космоса: Материалы Всероссийской конференции памяти члена-корреспондента РАН Г.И. Худякова. — Саратов, 2012. — С. 269–272.

3. Каледя К.Г. Следы разгрузки раннекайнозойских гидротерм на Русской платформе / К.Г. Каледя, Ю.Г. Цеховский, В.И. Муравьев, А.И. Суворов, Д.А. Бабушкин // Докл. РАН. 1996. Т. 349. № 1. — С. 74–77.

4. Коковкин А.А. Резонансная модель деформационной системы землетрясения как альтернатива сдвиговой модели // Проблемы современной сейсмогеологии и геодинамики Центральной и Восточной Азии: Материалы Всероссийского совещания с международным участием (18–24 сентября 2007 г. ИЗК СО РАН, г. Иркутск). — Иркутск, 2007. Т. 1. — С. 146–151.

5. Коковкин А.А. Эволюция новейшей окраинно-континентальной структуры Намибии и структура-антипод Востока Азии. Опыт междисциплинарного исследования на синергетической основе. — Саратов: Приволжская книжная палата, 2014. — 188 с.

6. Коковкин А.А. Эндогенные уран-полиэлементные рудообразующие системы в рифтогенных структурах юга Дальнего Востока России // Отечественная геология. 2006. № 2. — С. 5–12.

7. Милановский Е.В. Очерк геологии Среднего и Нижнего Поволжья. — М.; Л.: Гос. тех. изд-во нефтяной и горно-топливной литературы, 1940. — 275 с.

8. Никишин А.М. 400 миллионов лет геологической истории южной части Восточной Европы / А.М. Никишин, П.А. Фокин, П.Л. Тихомиров, Е.Ю. Барабошкин, А.С. Алексеев, А.В. Ершов, М.В. Коротаев, П.А. Циглер, Д.И. Панов, С.Н. Болотов, Ф. Шало-Пра, Б.П. Назаревич, Л.Ф. Копаевич, А.Г. Олферьев // Очерки по региональной геологии России: Серия аналитических обзоров. Вып. 1. — М.: Геокарт, 2005. — 388 с.

9. Тектоническая карта России, сопредельных территорий и акваторий, масштаб 1 : 4 000 000 / Е.Е. Милановский, О.А. Мазарович, Е.Е. Милановский, С.Л. Костюченко. — М.: Производственное картографическое объединение «Картография», 2007.

10. Хаин В.Е. Общая геотектоника. — М.: Недра, 1985. — 326 с.

11. Худяков Г.И., Ахлестина Е.Ф., Букина Т.Ф. Палеогидротермальные проявления в Нижнем Поволжье // Структура и эволюция минерального мира: Материалы Международного минералогического семинара. — Сыктывкар, 1997. — С. 166–167.

1. Ivanov A.V., Yashkov I.A., Kokovkin A.A., Isachenko A.P. Gagarinskij plavuchij universitet: Nauchno-prosvetitel'skaya ehkspediciya po Saratovsko-Volgogradskomu Pravoberezh'yu. Putevye fotoocherki [Gagarin Floating University: Scientific and educational expedition on the Saratov-Volgograd Right Bank. Travel photo stories]. Moscow: Universitetskaya kniga. 2015. 200 p.

2. Ivanov A.V. Paleoeological features of the Cenozoic Hydrothermal of the Lower Volga Region. *Coevolution of geospheres: from the core to the Cosmos: Materials of the All-Russian meeting the memory of Corresponding Member of RAS G.I. Khudyakov*. Saratov. 2012. Pp. 269–272. (In Russian).

3. Kaleda K.G., Tsekhovskiy Yu.G., Muravyev V.I., Suvorov A.I., Babushkin D.A. Traces of discharge of the Early Cenozoic Hydrothermal on the Russian platform. *Dokl. RAN*. 1996. Vol. 349. No 1, pp. 74–77. (In Russian).

4. Kokovkin A.A. The resonance model of the deformation system of the earthquake as an alternative for the strike-slip fault model. *Problems of contemporary seismogeology and geodynamics of Central and Eastern Asia: Materials of the All-Russian meeting with foreign participants (September 18–24, 2007. IK SB RAS, Irkutsk)*. Irkutsk. 2007. Vol. 1. Pp. 146–151. (In Russian).

5. Kokovkin A.A. Evolyutsiya noveyshey okrainno-kontinentalnoy strukturyi Namibii i struktura-antipod Vostoka Azii. Opyit mezhdistsiplarnogo issledovaniya na sinergeticheskoj osnove [The evolution of the modern marginal-continental structure of Namibia and the structure of the antipode of East Asia. The experience of interdisciplinary study based on synergy]. Saratov: Privolzhskaya knizhnaya palata. 2014. 188 p.

6. Kokovkin A.A. Endogenous uranium-polyelement ore genesis systems in the riftogenic structures of the Russian Far East South. *Otechestvennaya geologiya*. 2006. No 2, pp. 5–12. (In Russian).

7. Milanovskiy E.V. Ocherk geologii Srednego i Nizhnego Povolzhya [A sketch on geology of Middle and Lower Povolzh'e]. Moscow; Leningrad. 1940. 275 p.

8. Nikishin A.M., Fokin P.A., Tihomirov P.L., Baraboshkin E.Yu., Alekseev A.S., Ershov A.V., Korotaev M.V., Tsigler P.A., Panov D.I., Bolotov S.N., Shalo-Pra F., Nazarevich B.P., Kopaevich L.F., Olfer'ev A.G. 400 million years of geological history of the southern part of Eastern Europe. *Essays on regional geology of Russia. A series of analytical reviews. Iss. 1*. Moscow: Geokart. 2005. 388 p. (In Russian).

9. Tektonicheskaya karta Rossii, sopredelnyih territoriy i akvatoriy, masshtab 1 : 4 000 000 [Tectonic map of Russia, the adjacent areas and water areas, scale of 1 : 4 000,000]. Eds. by Yu.A. Mazarovich, E.E. Milanovskiy, S.L. Kostyuchenko. Moscow: Proizvodstvennoe kartosostavitel'skoe ob'edinenie «Kartografiya». 2007.

10. Hain V.E. Obschaya geotektonika [General geotectonics]. Moscow: Nedra. 1985. 326 p.

11. Khudyakov G.I., Akhlestin E.F., Bukina T.F. Paleogidrotthermal manifestations in the Lower Volga Region. *Structure and evolution of the mineral world: Materials of the international mineralogical seminar*. Syktyvkar. 1997. Pp. 166–167. (In Russian).

Коковкин Александр Александрович — доктор геол.-минер. наук, вед. науч. сотрудник, Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина (ИТиГ ДВО РАН). Ул. Ким Ю Чена, 65, Хабаровск, 680000, Россия. <kokovkin@itig.as.khb.ru>

Иванов Алексей Викторович — канд. геол.-минер. наук, зав. кафедрой геоэкологии и инженерной геологии, СГТУ<sup>1</sup>. <yashkovia@mail.ru>

Тюленева Вера Михайловна — канд. геол.-минер. наук, ст. науч. сотрудник, ВИМС<sup>2</sup>. <verat@inbox.ru>

Якушина Ольга Александровна — доктор техн. наук, ст. науч. сотрудник, ВИМС<sup>2</sup>. <yak\_oa@mail.ru>

Раков Леонид Тихонович — доктор геол.-минер. наук, вед. науч. сотрудник, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ РАН). Старомонетный пер., 35, Москва, 119017, Россия. <rakovlt@mail.ru>

Яшков Иван Александрович — канд. геогр. наук, доцент, СГТУ<sup>1</sup>. <yashkovia@mail.ru>

*Kokovkin Alexander Alexandrovich* – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, Institute of Tectonics and Geophysics named after Yu.A. Kosygin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (ITiG FEB RAS). 65 Kim Yu Chen Str., Khabarovsk, 680000, Russia. <kokovkin@itig.as.khb.ru>

*Ivanov Alexei Viktorovich* – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Head of the Department of Geology and Geocological Engineering, SSTU<sup>1</sup>. <yashkovia@mail.ru>

*Tyuleneva Vera Mikhailovna* – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, VIMS<sup>2</sup>. <verat@inbox.ru>

*Yakushina Olga Alexandrovna* – Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, VIMS<sup>2</sup>. <yak\_oa@mail.ru>

*Rakov Leonid Tikhonovich* – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry Russian Academy of Sciences (IGEM RAS). 35 Staromonetnyi per., Moscow, 1119017, Russia. <rakovlt@mail.ru>

*Yashkov Ivan Alexandrovich* – Candidate of Geographical Sciences, Assistant professor, SSTU<sup>1</sup>. <yashkovia@mail.ru>

<sup>1</sup> Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина (СГТУ). Ул. Политехническая, 77, Саратов, 410054, Россия.

Y. Gagarin State Technical University of Saratov (SSTU). 77 Polytechnicheskaya ul., Saratov, 410054, Russia.

<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского (ВИМС). Старомонетный пер., 31, Москва, 119017, Россия.

N.M. Fedorovsky All-Russian Scientific Research Institute of Mineral Resources (VIMS). 31 Staromonetnyi per., Moscow, 1119017, Russia.