



## СОДЕРЖАНИЕ

## Научный отдел

## География

**Конопацкова О. М., Макаров В. З., Суровцева О. В., Чумаченко А. Н.,****Чумаченко Н. А.** Геоэкологическая обстановка в Саратове и её возможное влияние на онкологическую заболеваемость населения 5**Кочеткова Е. С.** Историко-методические аспекты применения ландшафтно-гидрологического анализа при изучении геосистем 10**Макаров В. З., Пичугина Н. В., Затонский В. А., Лисман Ю. А., Хворостухин Д. П., Заботина Е. С.** Ландшафтная дифференциация Саратовского Предволжья: от регионального к локальному уровню 14**Молочко А. В., Пятницына Т. В., Федоров А. В., Хворостухин Д. П.**

Методика создания стереоскопической модели местности на основе одиночного снимка с использованием линзового раstra 21

**Морозова С. В.** О влиянии планетарной высотной фронтальной зоны на изменение некоторых характеристик климатического режима на Северном полушарии 25**Уставщикова С. В.** Этнические аспекты урбанизации Саратовской области 30**Хворостухин Д. П.** Оценка индекса устойчивого развития Федоровского муниципального района Саратовской области с использованием ГИС-технологий 33**Чумаченко А. Н., Макаров В. З., Данилов В. А.** Структура и содержание модуля «Наука» в ГИС «Национальный парк» (на примере ГИС НП «Хвалынский») 38

## Геология

**Ваньшин Ю. В., Хассан М. Г.** Вероятные сценарии изменения климата в дельте Египетского Нила 45**Гончаренко О. П., Джони С. Н., Астаркин С. В.** Седиментационная модель верхнеюрских продуктивных отложений юго-восточной части Ярсомовского участка 50**Гребенюк Л. В., Ерёмин В. Н., Решетников М. В., Фомина О. В.** Оценка воздействия автотранспорта на состояние атмосферного воздуха и почвенного покрова на территории города Энгельса (Саратовская область) 57**Губатенко В. П.** Критерии принадлежности векторных полей множеству электромагнитных полей 63**Жураев М. Р., Агзамова И. А., Джураев Р. Э.** Обоснование перспективных площадей сероводородных вод на выработанных нефтяных месторождениях (на примере Чимионской структуры) 73**Маврин К. А., Логинова М. П.** Палеогидрогеологическая обстановка формирования водонефтегазоносных комплексов палеозоя юго-востока Русской плиты 80**Миних А. В., Миних М. Г., Андрушкевич С. О.** Ихтиофауна терминальной перми в окрестностях г. Вязники Владимирской области 91

## Сведения об авторах

Решением Президиума ВАК Министерства образования и науки РФ журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых рекомендуется публикация основных результатов диссертационных исследований на соискание ученой степени доктора и кандидата наук

Зарегистрировано в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № 77-7185 от 30 января 2001 года

Индекс издания по каталогу ОАО Агентства «Роспечать» 36010, раздел 21 «Науки о Земле. Экология» Журнал выходит 2 раза в год

**Заведующий редакцией**  
Бучко Ирина Юрьевна

**Редактор**  
Малютина Елена Анатольевна

**Художник**  
Соколов Дмитрий Валерьевич

**Редактор-стилист**  
Степанова Наталия Ивановна

**Верстка**  
Степанова Наталия Ивановна

**Технический редактор**  
Ковалева Наталья Владимировна

**Корректор**  
Крылова Елена Борисовна

**Адрес редакции:**  
410012, Саратов, ул. Астраханская, 83  
Издательство Саратовского университета  
Тел.: (845-2) 52-26-89, 52-26-85

Подписано в печать 13.11.14.  
Формат 60x84 1/8.  
Усл. печ. л. 11,83 (12,25).  
Тираж 500 экз. Заказ 54.

Отпечатано в типографии  
Издательства Саратовского университета

© Саратовский государственный университет, 2014

**ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ**

Журнал «Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле» принимает к публикации на русском языке общетеоретические, методические, дискуссионные, критические статьи, результаты исследований в области наук о Земле, краткие сообщения и рецензии, а также хронику и информацию.

Объем публикуемой статьи не должен превышать 16 страниц, 5 рисунков и 4 таблиц.

Статья должна быть аккуратно оформлена и тщательно отредактирована.

Последовательность предоставления материала:

– на русском языке: индекс УДК, название работы, инициалы и фамилии авторов, сведения об авторах (ученая степень, должность и место работы, e-mail), аннотация, ключевые слова, текст статьи, благодарности, ссылки на гранты, библиографический список;

– на английском языке: название работы, инициалы и фамилии авторов, место работы (вуз, почтовый адрес), e-mail, аннотация, ключевые слова.

Отдельным файлом приводятся сведения о статье: раздел журнала, УДК, авторы и название статьи (на русском и английском языках); сведения об авторах: фамилия, имя и отчество (полностью), e-mail, телефон (для ответственного за переписку обязательно указать сотовый или домашний). Если название статьи слишком длинное, то для колонтитула следует привести его краткий вариант.

Иллюстрации и таблицы должны быть представлены отдельным файлом в формате jpg, tiff, cdr, bmp, разрешением не меньше 300 dpi. Рисунки должны быть представлены в черно-белом виде.

Кроме статьи, сведений об авторах необходима также рецензия на статью в двух экземплярах.

Все материалы предоставляются как в бумажном, так и электронном виде.

Требования к аннотации и библиографическому списку:

– аннотация должна отражать основную суть публикации; оптимальный объем 500–600 знаков;

– в библиографическом списке должны быть указаны только процитированные в статье работы; ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Более подробная информация о правилах оформления статей, образцы оформления различных источников приведены вместе со стилевым файлом по адресу: [www.geo.sgu.ru](http://www.geo.sgu.ru).

Датой поступления статьи считается дата поступления ее окончательного варианта. Возвращенная на доработку статья должна быть прислана в редакцию не позднее чем через три месяца. Возвращение статьи на доработку не означает, что статья будет опубликована, после переработки она вновь будет рецензироваться.

Материалы, отклоненные редколлегией, не возвращаются.

Адреса для переписки с редколлегией серии: [farik26@yandex.ru](mailto:farik26@yandex.ru); 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83, географический факультет, ответственному секретарю журнала «Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле».

**CONTENTS****Scientific Part****Geography**

- Konopatskova O. M., Makarov V. S., Surovtseva O. V., Chumachenko A. N., Chumachenko N. A.** Geocological Situation in Saratov and its Possible Impact on Cancer Incidence Population 5
- Kochetkova E. S.** Historical and Methodological Aspects of the Application of Landscape-hydrological Analysis in the Study of Geosystems 10
- Makarov V. Z., Pichugina N. V., Zatonsky V. A., Lisman Y. A., Khvorostukhin D. P., Zobotina E. S.** Saratov Predvolzhzha Landscape Differentiation from Regional to Local Level 14
- Molochko A. V., Pyatnizyna T. V., Fedorov A. V., Khvorostukhin D. P.** Methodic of Stereoscopic Terrain Model Creation Based on a Single Satellite (Space) Imagery by Means of Lens Raster 21
- Morozova S. V.** On the Influence of the Planetary Front High-Rise Zone to Change Some Characteristics of the Climatic Regime in the Northern Hemisphere 25
- Ustavshchikova S. V.** Ethnic Aspects of Urbanisation in Saratov Region 30
- Khvorostukhin D. P.** Fedorovskiy Municipal District of Saratov Region Sustainable Development Index Assessment using GIS-technologies 33
- Chumachenko A. N., Makarov V. Z., Danilov V. A.** Structure and the Module Content «Science» in GIS «National Park» (for Example, GIS NP «Khalinsky») 38

**Geology**

- Vanshin U. F., Hassan M. G.** The Possible Scenario for Climate Change on the Egyptian Nile Delta 45
- Goncharenko O. P., Dzhoni S. N., Astarkin S. V.** Sedimentation Model of the Upper Jurassic Productive Beds from the Southeast of the Yarsomovskij Site 50
- Grebenuk L. V., Eremin V. N., Reshetnikov M. V., Fomina O. V.** The Assessment of Motor Transport Influence on a Condition of Atmospheric air and a Soil Cover in the Territory of the Engels City 57
- Gubatenko V. P.** Criteria Affiliation of the Vector Fields to the Set of Electromagnetic Fields 63
- Juraev M. R., Agzamova I. A., Djuraev R. E.** Justification of Prospects Sulfurous Waters in Depleted oil Fields (for Example Chimions Structure) 73
- Mavrin K. A., Loginova M. P.** Paleohydrogeologicheskaya Decor Formation Vodoneftegazonosnyh Paleozoic Complexes South-eastern Russian Plate 80
- Minikh A. V., Minikh M. G., Andrushkevich S. O.** Terminal Permian Ichthyofauna from the Vicinity of Viazniki Town, Vladimir Province 91

**Information about the Authors**

97



**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА  
«ИЗВЕСТИЯ САРАТОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. НОВАЯ СЕРИЯ»**

**Главный редактор**

Чумаченко Алексей Николаевич, доктор геогр. наук, профессор (Саратов, Россия)

**Заместитель главного редактора**

Стальмахов Андрей Всеволодович, доктор физ.-мат. наук, профессор (Саратов, Россия)

**Ответственный секретарь**

Халова Виктория Анатольевна, кандидат физ.-мат. наук, доцент (Саратов, Россия)

**Члены редакционной коллегии:**

Бабков Лев Михайлович, доктор физ.-мат. наук, профессор (Саратов, Россия)

Балаш Ольга Сергеевна, кандидат экон. наук, доцент (Саратов, Россия)

Бучко Ирина Юрьевна, директор Издательства Саратовского университета (Саратов, Россия)

Данилов Виктор Николаевич, доктор ист. наук, профессор (Саратов, Россия)

Ивченков Сергей Григорьевич, доктор социол. наук, профессор (Саратов, Россия)

Коссович Леонид Юрьевич, доктор физ.-мат. наук, профессор (Саратов, Россия)

Макаров Владимир Зиновьевич, доктор геогр. наук, профессор (Саратов, Россия)

Прозоров Валерий Владимирович, доктор филол. наук, профессор (Саратов, Россия)

Устьянцев Владимир Борисович, доктор филос. наук, профессор (Саратов, Россия)

Шамяионов Раиль Мунирович, доктор психол. наук, профессор (Саратов, Россия)

Шляхтин Геннадий Викторович, доктор биол. наук, профессор (Саратов, Россия)

**EDITORIAL BOARD OF THE JOURNAL  
«IZVESTIYA OF SARATOV UNIVERSITY. NEW SERIES»**

**Editor-in-Chief** – Chumachenko A. N. (Saratov, Russia)

**Deputy Editor-in-Chief** – Stalmakhov A. V. (Saratov, Russia)

**Executive Secretary** – Khalova V. A. (Saratov, Russia)

**Members of the Editorial Board:**

Babkov L. M. (Saratov, Russia)

Balash O. S. (Saratov, Russia)

Buchko I. Yu. (Saratov, Russia)

Danilov V. N. (Saratov, Russia)

Ivchenkov S. G. (Saratov, Russia)

Kossovich L. Yu. (Saratov, Russia)

Makarov V. Z. (Saratov, Russia)

Prozorov V. V. (Saratov, Russia)

Ustyantsev V. B. (Saratov, Russia)

Shamionov R. M. (Saratov, Russia)

Shlyakhtin G. V. (Saratov, Russia)



**РЕДАКЦИОННАЯ  
КОЛЛЕГИЯ**





**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА  
«ИЗВЕСТИЯ САРАТОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. НОВАЯ СЕРИЯ.  
СЕРИЯ: НАУКИ О ЗЕМЛЕ»**

**Главный редактор**

Макаров Владимир Зиновьевич, доктор геогр. наук, профессор (Саратов, Россия)

**Заместитель главного редактора**

Коробов Александр Дмитриевич, доктор геол.-минерал. наук, профессор (Саратов, Россия)

**Ответственный секретарь**

Молочко Анна Вячеславовна, кандидат геогр. наук (Саратов, Россия)

**Члены редакционной коллегии:**

Гужиков Андрей Юрьевич, доктор геол.-минерал. наук, профессор (Саратов, Россия)

Гусев Виктор Александрович, кандидат с.-х. наук, доцент (Саратов, Россия)

Колотухин Анатолий Трофимович, кандидат геол.-минерал. наук, доцент (Саратов, Россия)

Московский Георгий Александрович, доктор геол.-минерал. наук, доцент

(Саратов, Россия)

Первушов Евгений Михайлович, доктор геол.-минерал. наук, профессор (Саратов, Россия)

Рихтер Яков Андреевич, доктор геол.-минерал. наук, профессор (Саратов, Россия)

Рыскин Михаил Ильич, кандидат геол.-минерал. наук, доцент (Саратов, Россия)

Самонина Светлана Сергеевна, кандидат геогр. наук, доцент (Саратов, Россия)

Скляр Юри́й Андреевич, доктор техн. наук, профессор (Саратов, Россия)



**EDITORIAL BOARD OF THE JOURNAL  
«IZVESTIYA OF SARATOV UNIVERSITY. NEW SERIES.  
SERIES: EARTH SCIENCES»**

**Editor-in-Chief** – Makarov V. Z. (Saratov, Russia)

**Deputy Editor-in-Chief** – Korobov A. D. (Saratov, Russia)

**Executive Secretary** – Molochko A. V. (Saratov, Russia)

**Members of the Editorial Board:**

Guzhikov A. Yu. (Saratov, Russia)

Gusev V. A. (Saratov, Russia)

Kolotukhin A. T. (Saratov, Russia)

Moskovskij G. A. (Saratov, Russia)

Pervushov E. M. (Saratov, Russia)

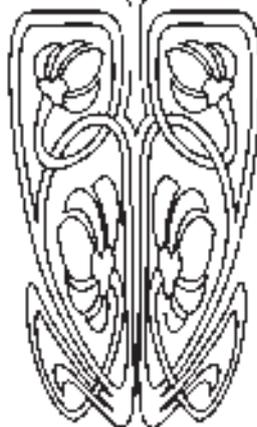
Richter Y. A. (Saratov, Russia)

Riskin M. I. (Saratov, Russia)

Samonina S. S. (Saratov, Russia)

Sklyarov Yu. A. (Saratov, Russia)

**РЕДАКЦИОННАЯ  
КОЛЛЕГИЯ**





## ГЕОГРАФИЯ

УДК [616-006.8 + 616-036.2:91] 9470.44)

### ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА В САРАТОВЕ И ЕЁ ВОЗМОЖНОЕ ВЛИЯНИЕ НА ОНКОЛОГИЧЕСКУЮ ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ

О. М. Конопацкова<sup>1</sup>, В. З. Макаров<sup>2</sup>, О. В. Суровцева, А. Н. Чумаченко, Н. А. Чумаченко

<sup>1</sup>Саратовский государственный медицинский университет

<sup>2</sup>Саратовский государственный университет,

E-mail: makarovvz@rambler.ru

В статье рассматривается геоэкологическая обстановка в Саратове в первом десятилетии нового века. Оценивается загрязнение воздушного бассейна наиболее опасными веществами, определённо влияющими на онкологическую заболеваемость населения: пылью разного происхождения, формальдегидом, бенз (апиреном), фенолом. Выявление и локализация зон и участков с неблагоприятными экологическими условиями необходимы для более тщательных, включая скрининговые, наблюдений за развитием канцерогенной ситуации в городе и корректировки противораковой региональной программы.

**Ключевые слова:** Саратов, геоэкологические факторы онкологического риска, медицинская экология.

#### Geoecological Situation in Saratov and its Possible Impact on Cancer Incidence Population

О. М. Конопацкова, V. S. Makarov, O. V. Surovtseva, A. N. Chumachenko, N. A. Chumachenko

The article deals with geoecological situation in Saratov in the first decade of the new century. Also in the article was estimated air pollution in the most dangerous pollutants, particularly affecting on cancer morbidity such as dust of different origin, formaldehyde, benzo (apirenom) phenol. Identification and localization of zones and areas with adverse environmental conditions is necessary for more rigorous, including screening observations on the development of the carcinogenic situation and correcting regional cancer program.

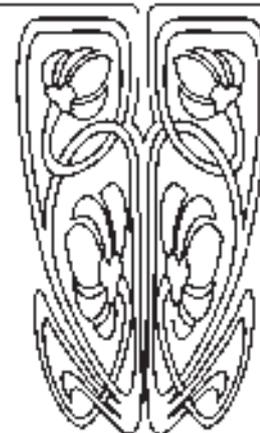
**Key words:** Saratov, geoecological factors of cancer risk, medical ecology.

#### Постановка проблемы

Двадцать лет назад онкологи В. В. Довгуш и М. И. Тихонов ввели понятие «экологическая медицина», подразумевая под данным термином учение о здоровье и болезнях человека, возникающих под влиянием факторов окружающей среды [1]. Главная цель экологической медицины – выявлять закономерности развития заболеваемости и разрабатывать научно обоснованные рекомендации по ее профилактике и снижению. В. И. Чиссов с соавторами подчёркивает, что постоянный рост раковых заболеваний обусловлен многими причинами, в том числе ухудшением экологической обстановки в местах проживания людей. К примеру, в двух миллионах случаев из шести миллионов (согласно мировой статистике) причиной возникновения злокачественных опухолей являются экологические факторы. Как показывают исследования градозкологов, при определенном уровне техногенного давления на среду обитания связь между количеством заболевших и уровнем загрязнения природных сред становится статистически значимой [2, 3]. Очевидно, можно сказать, что в «грязной» природной среде, когда снижается иммунный статус организма, риск заболеть, в частности, раком при прочих равных условиях значительно выше.



НАУЧНЫЙ  
ОТДЕЛ





В сложившейся ситуации необходимо создание национальной и региональных (территориальных) противораковых программ, направленных на принятие определенных организационных решений [4]. Для разработки подобных программ необходим анализ канцерогенной ситуации, особенно по тем локализациям рака, которые занимают первые места в структуре онкозаболеваемости региона. Анализ онкозаболеваемости на конкретной территории, включающий учет экологических факторов, дает возможность выявить присущие региону особенности и определить основные направления первичной профилактики рака. А. П. Ильницкий отмечает, что усилия по профилактике злокачественных новообразований должны быть сконцентрированы на решении двух задач. Первая – выявление и предотвращение действия канцерогенов. Вторая – установление предрасположенности организма к опухолеобразованию и ее коррекция. По его мнению, для этого надо рассматривать онкогигиенические, биохимические, медико-генетические, иммунобиологические и эндокринно-возрастные аспекты [5]. Я. Г. Райхман ввёл понятие «канцерогенная ситуация». Это заболеваемость населения злокачественными новообразованиями, отмечаемая на различных территориях и возникшая под влиянием комплекса факторов окружающей среды [6].

Очевидно, оценка канцерогенной ситуации невозможна без предварительной оценки экологической ситуации, что, в свою очередь, требует организации экологического мониторинга. Сведения об уровне «загрязненности» городской среды от места к месту нужны онкологам для определения конкретных направлений первичной профилактики, являющейся одним из ведущих принципов противораковой борьбы. Предлагаемая статья рассматривает геоэкологическую обстановку в современном Саратове именно в связи с изложенными выше задачами по созданию и реализации конкретной антираковой городской программы. Анализ экологической ситуации в городе необходим для определения наиболее значимых экологических факторов онкологического риска.

### Привлечённые материалы и методы исследования

К сожалению, Саратов остается в числе тех крупнейших городов России и Поволжья, в которых состояние санитарно-гигиенической и, шире, геоэкологической обстановки вызывает тревогу. Несмотря на резкое (в три с лишним раза) уменьшение выбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями в атмосферный воздух и сбросов загрязненных вод в Волгу, индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) остаётся выше нормы [3, 7–14], а качество воды в реке городской черте ныне даже не контролируется ввиду отсутствия гидропоста [13]. Уменьшение выбросов в атмосфе-

ру предприятиями из-за их закрытия, перехода на новые технологии или менее интенсивную работу, увы, с лихвой «компенсировалось» значительным увеличением выбросов от автомобильного транспорта, а также менее строгим контролем за соблюдением экологических нормативов [12].

Современный Саратов, точнее его население, страдает от сильной запылённости воздушного бассейна, загазованности прилегающих к оживлённым транспортным магистралям улиц, от выбросов предприятий электрохимии, нефтехимии, стекольного производства, нефтепереработки. Возникает вопрос: как сказываются перечисленные негативные обстоятельства на канцерогенной ситуации в городе? Оценкой канцерогенной ситуации в российских городах занимались многие исследователи, как онкологи, гигиенисты, так и градозэкологи-географы [15–20]. Изучению распространённости меланомы и рака кожи в Саратове посвящена отдельная монография [21]. При написании статьи были использованы как материалы полевых исследований, полученные в лаборатории урбоэкологии СГУ, так и данные медицинской статистики за последнее десятилетие, опубликованные работы по указанной тематике. Полевые работы и систематизация полученного материала проводились в соответствии с концепцией урболандшафтных участков городской территории и с использованием методов геоинформационного картографирования [22].

### Результаты исследований и их обсуждение

При анализе градозэкологической и канцерогенной ситуаций в Саратове авторы данной статьи отталкивались от следующих фактов:

1) в городе сложилась неблагоприятная геоэкологическая обстановка. Она обусловлена, прежде всего:

– высокой, даже критической *загрязнённостью атмосферного воздуха*, в частности, такими веществами, провоцирующими рак, как формальдегид, бенз (а) пирен, мельчайшая пыль, диоксиды азота и углерода, сажа, диоксины;

– наличием многочисленных так называемых *геопатогенных зон*, т. е. участков с трещинами и разломами в земной коре разного масштаба с близким залеганием и выходом грунтовых вод. На геопатогенных участках возможны эманация радиоактивного газа радона и его накопление в подвалах и на нижних этажах жилых домов при отсутствии проветривания;

2) значительная доля населения пожилого возраста сильно уязвима по отношению к онкологическим заболеваниям, к тому же имеет низкие доходы и часто находится в стрессовых ситуациях.

Указанные факторы ослабляют иммунитет и увеличивают риск онкологической опасности. Данный вывод косвенно подтверждается постоянным увеличением числа онкологических больных в Саратове. Так, в 2009 г. онкозаболеваемость в Саратовской области выросла на 6% [22].



В данной статье рассмотрим, прежде всего, загрязненность приземного слоя воздуха в городе как фактор онкологического риска. В последующих публикациях исследуем местоположение и возможное влияние техногенных электромагнитных полей и так называемых «геопатогенных» зон.

Саратов, по официальным данным, входит в число крупнейших городов России с сильным загрязнением атмосферного воздуха. Такой нормативный показатель, как комплексный индекс загрязнения атмосферы, рассчитываемый по пяти наиболее часто встречающимся и опасным веществам в приземной атмосфере (КИЗА5), свидетельствует об «очень высоком» (более 14) и даже «критическом» загрязнении атмосферы [23, 24]. Например, в центральной, исторической, части города в некоторые годы он превышает «очень высокий» уровень более чем в 2 раза и составляет 28,35 (район Центрального колхозного рынка). Вокруг некоторых крупных работающих ныне предприятий величина КИЗА5 достигает 30 и более (территория близ завода «Технического стекла» в Ленинском районе Саратова. Конечно, величина загрязнения меняется от места к месту, но она недопустимо высока близ крупных работающих предприятий и вдоль автомагистралей с напряжённым потоком транспорта. Эти участки являются опасными для здоровья людей, особенно если они пребывают там долгое время и, что еще хуже, проживают.

Рассмотрим более конкретно одну из неблагоприятных особенностей саратовского воздуха – его запылённость. Городская пыль, хотя и учитывается при расчёте КИЗА, её значение при оценке канцерогенной ситуации зачастую недооценивается [25].

К примеру, в ежегодных «Докладах о состоянии окружающей природной среды в Саратовской области» [7–14] внимание к пылевой проблеме неоправданно снижено. В последние годы информация о запылённости воздуха на постах постоянного контроля загрязнения воздушного бассейна (ПЗА) не даётся. На недавно организованных новых постах контроля пылевые выбросы не фиксируются [12–14].

Между тем пыль по своей биотоксикологической относится к третьему классу опасности. Она провоцирует развитие общетоксикологических, мутагенных, канцерогенных и других эффектов [26, с. 17]. Наиболее опасны пылевые частички величиной в несколько микрон и даже десятых долей микрона. Всемирная организация здравоохранения мельчайшую пыль, (менее 50 микрон) обозначает индексом PM10. В этом случае пыль, подобно газу, проникает глубоко в легкие и вызывает различные заболевания: рак лёгких, сердечно-сосудистые заболевания, астму и др. Имеются факты о ведущей роли мелкой пыли в ускоренном старении организма и снижении иммунитета [27, 28]. Очень токсична пыль соединений свинца, цинка, меди, кадмия. Пыль становится особенно

опасной, когда на её частицах адсорбируются токсические и радиоактивные вещества, патогенные микроорганизмы и вирусы. Какова же пылевая нагрузка на территорию Саратова в разных жилых микрорайонах и в разные сезоны года? Авторы в статье «Оценка запыленности воздушного бассейна города Саратова по данным прямых и косвенных методов наблюдений» привели некоторые результаты исследований пылевой нагрузки на территорию Саратова [25]. Далее кратко изложим основные выводы упомянутой статьи.

Согласно официальным источникам [7–14], среднегодовое содержание пыли в воздухе Саратова с 1986 по 2012 год *не превышало* допустимых среднесуточных показателей (ПДКсс составляет 0.15 мг/м<sup>3</sup>). Исключением стали 1986, 2001 и 2002 гг. Более того, концентрация пыли в атмосфере Саратова по месяцам года также не превышает ПДКсс. Самые пыльные месяцы – апрель, май, август, октябрь – в основном соответствуют нормативным показателям. Таким образом, среднесуточные ПДК пылевой нагрузки в Саратове (именно они учитываются при оценке риска для здоровья горожан) не вызывают беспокойства. Между тем саратовцы хорошо знают, что в летний период и в сентябре воздух в Саратове часто мутный от газа и пыли. Это особенно характерно для северной котловины, в которой размещена историческая часть города, и участков, прилегающих к загруженным автомагистралям, к заводам стройматериалов в Заводском и Ленинском районах. Полевые работы, проведённые с помощью мобильной экологической лаборатории СГУ летом 2013 г. показали значительное *превышение ПДК максимальной разовой (ПДК мр) по пыли практически на всей территории города*, как в жилых кварталах, так и в промзонах, на автомагистралях, даже в зелёной зоне [25].

Было взято 26 проб на загрязненность городского воздуха в разных типах городской застройки. Анализ воздуха на твёрдые аэрозоли в 23 случаях обнаружил превышение максимально разовых ПДК от 3 до 20 раз, что значительно превосходит полученные 20 лет назад показатели запылённости на оживлённых улицах города [25]. Почти повсеместно обнаружено превышение концентрации пыли относительно ПДКмр более чем в 2 раза. Подчеркнем, что наибольшая концентрация пыли, аэрозолей выявлена в понижениях рельефа с очень плотным транспортным потоком: при слиянии ул. Шехурдина с просп. Строителей в Ленинском районе, в зоне транспортного коридора, включающего железную дорогу и автомагистраль у развязки Трофимовский в Ленинском районе, на пересечении двух переполненных автотранспортом улиц Навашина и Танкистов на склоне Соколовогорского массива. Это говорит о главной роли автотранспорта в образовании аэрозольной взвеси из выхлопных газов, асфальтовой пыли и резиновых частиц при истирании дорожного полотна автошинами. Плотность транс-



портного потока, согласно средним подсчётам на оживлённых улицах Саратова, в час пик достигает 3000 автомобилей в час. Ежегодное нарастание транспортной загруженности всё более увеличивает загазованность и запылённость приземного слоя воздуха вдоль автомагистралей и усугубляет экологическую ситуацию в городе [25]. В целом же расчёты показывают, что на 1 км<sup>2</sup> городской территории в сутки выпадает примерно 1 т пыли или 365 т в год! [25]. Между тем установлено, что болезни органов дыхания проявляются при выпадении пыли объёмом более 219 т/г на 1 км<sup>2</sup> [29].

Следует отметить, что выбросы в Саратове и от стационарных источников, и от автотранспорта в последние годы растут [7-14]. Поэтому контроль пылевой нагрузки на воздушный бассейн города должен усиливаться, приобретать более целенаправленный и обеспеченный разнообразными данными характер. Что следует делать для решения пылевой проблемы? Прежде всего, необходимо, на наш взгляд, создать более плотную сеть станций мониторинга запылённости. Площадки наблюдений следует организовать, в первую очередь, в жилых зонах с разным типом застройки, во дворах дошкольных, учебных и медицинских учреждений. В жилых районах, прилегающих к зонам экологического риска, необходимо провести онкологический скрининг.

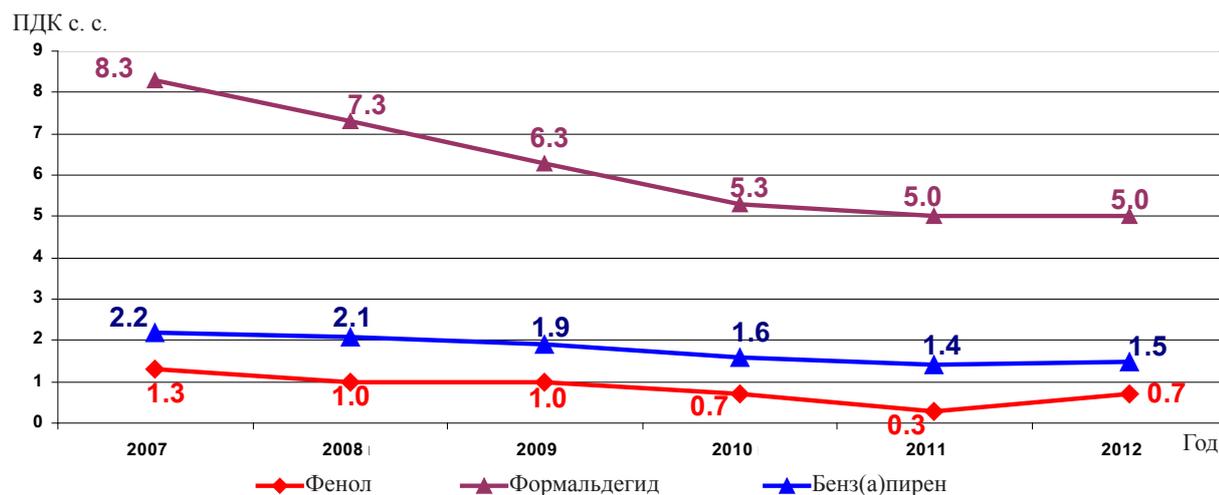
Рассмотрим другие онкозначимые ингредиенты техногенного загрязнения воздуха в Саратове. Это, прежде всего, загрязнение формальдегидом, фенолом, бенз(а)пиреном, сажей, диоксином. Отметим, что углеводородные загрязнители в воздухе и, шире, органические весьма характерны для Саратова, их доля составляет более 15% от общего объёма загрязняющих веществ [7-14].

Формальдегидное превышение значений ПДК как максимальных разовых, так и среднесуточных (ПДК<sub>мр</sub>, ПДК<sub>сс</sub>), наблюдается в Саратове постоянно, особенно в тёплый период. В жаркую погоду содержание формальдегида в приземном воздухе заметно увеличивается. Основные источники появления формальдегида в приземном воздухе Саратова – работа автотранспорта и выбросы нефтеперерабатывающего завода и химического предприятия «Саратоворгсинтез». Результаты, полученные на постах постоянного наблюдения за загрязнением воздуха в Саратове за 2008–2012 гг., отразили следующую ситуацию. Выявлено повсеместное и постоянное превышение ПДК<sub>сс</sub> формальдегида, фенола и бенз(а)пирена практически на всех пунктах наблюдения за все указанные годы [13, с. 11] (таблица).

Изменение средних концентраций фенола, формальдегида и бенз(а)пирена относительно ПДК<sub>с.с.</sub> за 2007–2012 гг представлено на рисунке.

Динамика загрязнения атмосферного воздуха г. Саратова формальдегидом, фенолом и бенз (а) пиреном за 2008–2012 гг., мг/м<sup>3</sup> [13, с. 11]

Загрязняющие вещества	Среднегодовые концентрации примесей					ПДК с.с.
	2008	2009	2010	2011	2012	
Фенол	0,003	0,003	0,002	0,001	0,002	0,003
Формальдегид	0,022	0,019	0,016	0,015	0,015	0,003
Бенз (а) пирен	2,1•10 <sup>-6</sup>	1,9•10 <sup>-6</sup>	1,6•10 <sup>-6</sup>	1,4•10 <sup>-6</sup>	1,5•10 <sup>-6</sup>	1•10 <sup>-6</sup>



Динамика загрязнения атмосферного воздуха г. Саратова фенолом, формальдегидом и бенз (а) пиреном за 2007–2012 гг. (доли ПДК с.с.) [13, с. 47].

Выше говорилось о сильном загрязнении формальдегидом участков, прилегающих к автомагистралям и крупным работающим предпри-

ям химии, нефтепереработки и стройиндустрии (завод «Технического стекла»).

Анализ материалов по ПНЗ-1 (просп. Эн-



тузиастов в Заводском районе) и ПНЗ-6 (у завода «Техстекло») обнаружил среднегодовую концентрацию формальдегида до 5.7 ПДК, а его максимальная разовая концентрация у завода «Саратоворгсинтез» и на просп. Энтузиастов доходила до 8.1 ПДК.

*Фенолом* в большей степени загрязнен атмосферный воздух на территории, прилегающей к заводу «Саратоворгсинтез», и в районе Центрального колхозного рынка. Особенно насыщен городской воздух фенолом летом, в дни со слабым ветром или в безветренную погоду [13].

*Бенз (а) пирен* является полициклическим ароматическим углеводородом первого класса опасности. Он обладает выраженным канцерогенным действием и накапливается в природных средах, в частности в почвах, растениях, мясе животных. Источником поступления бенз (а) пирена в окружающую среду являются нагретый асфальт, выхлопы автотранспорта, особенно при работе двигателя на холостом ходу, т. е. при стоянии в пробках, при сжигании мусора и пр. Концентрация бенз(а)пирена в атмосферном воздухе Саратова, к сожалению, сильно превышает допустимые значения ПДКс.с., причём в жаркую безветренную погоду его концентрация в приземном слое воздуха близ автомагистралей превосходит значения ПДК м.р. в 5 и более раз.

## Выводы

1. Саратов в силу особенностей рельефа, засушливости климата, слабой озеленности и неблагоприятности городской территории является весьма пыльным городом. Данное обстоятельство является одной из причин развития болезней органов дыхания и может быть фактором онкологического риска. Повышенная запылённость мельчайшей техногенной пылью наблюдается на расстоянии 30–50 м от оживлённых магистралей, вокруг крупных предприятий с действующим производством с открытыми промплощадками, а также на территориях с большими, непокрытыми растительностью грунтами с сильным пылевым переносом.

2. Крупные предприятия химии, нефтехимии, производства стекла, нефтепереработки, а также плотно забитые транспортом улицы с постоянными пробками создают повышенные (выше допустимых) концентрации фенола, формальдегида, сажи, бенз(а)пирена, диоксинов – опасных канцерогенов в приземном слое городского воздуха.

3. При планировании профилактических мероприятий в рамках городской противокаковой программы необходимо проводить более тщательные исследования для выявления признаков иммунодефицита среди жителей, проживающих в зонах экологического (и онкологического) риска.

## Библиографический список

1. Довгуш В. В., Тихонов М. И. От экологии и медицины к экологической медицине // Гигиена и санитария. 1994. № 4. С. 70–75.
2. Стурман В. И. Экологическое картографирование : учеб. пособие. М., 2003. 251 с.
3. Ларионов Н. В., Ларионов М. В. О состоянии воздушного бассейна в пределах урбосистем Среднего Поволжья (Саратовская область) // Вестн. Саратов. ун-та. 2009. № 12 (106). С. 51–55.
4. Чиссов В. И., Старинский В. В., Ковалев Б. Н. Онкологическая служба накануне V съезда онкологов России // Высокие технологии в онкологии : Материалы V Всерос. съезда онкологов : в 5 т. Казань, 2000. Т. 1. С. 3–4.
5. Ильницкий А. П. Первичная профилактика рака // Инф. бюл. 2005. № 5. 23 с.
6. Райхман Я. Г. Управление канцерогенной ситуацией и профилактика рака (системный подход). М., 1999. 127 с.
7. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2004 году». Саратов, 2005. 158 с.
8. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2005 году». Саратов, 2006. 250 с.
9. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2006 году». Саратов, 2007. 283 с.
10. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2008 году». Саратов, 2009. 320 с.
11. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2009 году». Саратов, 2010. 280 с.
12. Доклад об экологической ситуации в Саратовской области в 2010 году. Саратов, 2011. 38 с.
13. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2011 году. Саратов, 2012. 245 с.
14. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2012 году». Саратов, 2013. 220 с.
15. Давыдов М. И., Аксель Е. М. Заболеваемость злокачественными новообразованиями населения России и стран СНГ в 2010 г. // Статистика злокачественных новообразований в России и странах СНГ в 2010 г. / под ред. М. И. Давыдова, Е. М. Аксель. М., 2012. С. 127–197.
16. Михеева Г. Х., Гатаулин И. Г., Биктемирова Р. Г. Экологические аспекты онкологической заболеваемости населения Республики Татарстан и Ульяновской области // Вопросы онкологии. 2013. Т. 1, № 3. С. 183–184.
17. Значимость экологических рисков в формировании показателей онкологической заболеваемости / И. Д. Ситдикова, Н. Х. Амиров, Р. Ш. Хасанов [и др.] // Высокие технологии в онкологии : в 5 т. ; материалы V Всерос. съезда онкологов. Казань, 2000. Т. 1. С. 70–72.
18. Онкоэпидемиологические аспекты канцерогенной ситуации и условий водопользования / Т. В. Шелякина, П. В. Журавлев, С. В. Головин [и др.] // Там же. С. 110–113.
19. Куролан С. А. Геоэкологические основы мониторинга здоровья населения и региональные модели комфортности окружающей среды : автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. М., 1999. 42 с.
20. Организация компьютерного мониторинга и оценка



медико-экологической ситуации в Воронеже / С. А. Куролап, О. В. Клепиков, Н. П. Мамчик [и др.]. Воронеж, 1995. 84 с.

21. *Кополицкая О. М., Макаров В. З., Чумаченко А. Н.* Медико-экологический анализ распространения злокачественных опухолей кожи в Саратове. Саратов, 2000. 92 с.

22. *Макаров В. З.* Ландшафтно-экологический анализ крупного промышленного города / под ред. Ю. П. Селивёрстова. Саратов, 2011. 178 с.

23. Новости Саратовской губернии. Сообщение главного онколога области В. Семенчени. 09.12.2013 г. URL : <http://www.reporter-smi.ru> (дата обращения : 24.05.2014).

24. Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. М., 2003. 45 с.

25. Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.1983-05. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Дополнение № 2 к ГН 2.1.6.1338-03. М., 2003. 25 с.

26. *Макаров В. З., Суворцева О. В., Чумаченко, А. Н.* Оценка запыленности воздушного бассейна города Саратова по данным прямых и косвенных методов наблюдений // Изв. Сарат. ун-та. Новая серия. Серия Науки о Земле. 2014. Т. 14, вып. 1. С. 16–25.

27. Экология и проблемы большого города : рефер. сб. М., 1992. С. 17.

28. *Войтенко В. П., Козловская С. Г.* Современные проблемы геронтологии и гериатрии. М., 1988. 135 с.

29. *Трацилова А. В.* Оценка риска смертности населения от мелкодисперсных взвешенных частиц, выбрасываемых в атмосферу промышленными предприятиями : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Волгоград, 1999. 29 с.

УДК 504.4.556

## ИСТОРИКО-МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАНДШАФТНО-ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГЕОСИСТЕМ



Е. С. Кочеткова

Саратовский государственный университет  
E-mail: [esk-20@yandex.ru](mailto:esk-20@yandex.ru)

В данной статье проведены анализ, обобщение и систематизация материалов гидрологических исследований отечественных и зарубежных учёных в период с конца XIX в. по настоящее время. Выявлено состояние изученности проблемы применения ландшафтно-гидрологического анализа при исследовании геосистем, рассмотрены разнообразные подходы и методы.

**Ключевые слова:** геосистемы, ландшафтно-гидрологический анализ, водный баланс, бассейновый принцип.

### Historical and Methodological Aspects of the Application of Landscape-hydrological Analysis in the Study of Geosystems

Е. S. Kochetkova

In this article the analysis, generalization and systematization of materials of hydrological researches of Russian and foreign scientists are carried out to the period since the end of the nineteenth century till the present time. The extent of the investigation of the problem of application of landscape-hydrological analysis in the study of geosystems is revealed; the various approaches and methods are considered.

**Key words:** geosystems, landscape-hydrological analysis, water balance, basin principle.

Известный учёный-естествоиспытатель В. И. Вернадский в 1926 г. писал, что «настоящее есть закономерное проявление прошлого, как бы далеко оно от нас ни отстояло» [1, с.230]. В географической науке существует две основополагающие концепции, осознававшиеся в различных

формах ещё мыслителями древности. Первая концепция говорит о единстве природы, населения и хозяйства, а вторая подчёркивает разнообразие физико-географических условий, характеризующих территорию [2].

Обводнённость территории является значительным фактором в развитии природной среды, определяющим структурную и функциональную специфику геосистемы. На этот факт неоднократно указывали классики географической науки В. В. Докучаев, В. И. Вернадский, С. Д. Муравейский, Г. Н. Высоцкий [3].

Цель работы – определить роль ландшафтно-гидрологического анализа при оценке состояния и функционирования геосистем. Для выполнения этой цели необходимо решить следующие задачи: провести сравнительный обзор материалов гидрологических исследований отечественных и зарубежных учёных; рассмотреть применявшиеся ранее подходы и методы ландшафтно-гидрологического анализа геосистем.

Разработка теоретических основ ландшафтно-гидрологического анализа основана на многолетнем опыте изучения гидрологических свойств различных геосистем, а также происходящих в последних процессов и явлений. При историческом обзоре исследований водного баланса речных бассейнов необходимо учитывать отсутствие возможности чёткого разделения периодов, так как последующее знание всегда включает предыдущее в качестве своей составной части.

В конце XIX– начале XX в. поиски зависимости речного стока от климатических факторов, определяющих общее количество водных



ресурсов региона, их изменчивость во времени и пространстве были вполне естественны. Представление о главенствующей роли климата составляло теоретический фундамент гидрологической науки. К ученым, анализировавшим зависимость речного стока от климата, можно отнести В. Уле, Е. А. Гейнца, Г. Келлера, Р. Шрейбера, Э. М. Ольдекопа, М. И. Будыко, А. И. Воейкова.

При крайней недостаточности данных гидрологических наблюдений за речным стоком и значительно более полной метеорологической изученности оценка водоносности рек осуществлялась путем расчета годового стока по метеорологическим факторам – осадкам и испарению. Этот способ косвенной оценки речного стока был важен для практических целей. В работах А. И. Воейкова и А. Пенка [4,5] сформулировано уравнение среднего за многолетний период одного баланса крупного речного бассейна [6]:

$$Y = P - E,$$

где  $Y$  – годовой сток;  $P$  – годовые осадки;  $E$  – годовое испарение.

Согласно предложенной зависимости норма стока определяется лишь климатическими факторами. Морфологические особенности водосбора, характер растительности, грунтов и почв отражаются на норме стока через осадки и испарение.

Гидрология как система научных знаний оформилась в начале XX в. Определение гидрологии как науки, изучающей распространение и режим природных вод на земном шаре, было сделано в 1915 г. выдающимся русским гидрологом В. Г. Глушковым. Им же в 1961 г. были сформулированы основные положения ландшафтно-гидрологического принципа, примененного к исследованию как малых, так и больших водосборов и базирующегося на выявлении причинных связей водных ресурсов с характеристиками ландшафтов [7].

Немецкий ученый Р. Шрейбер, рассматривавший в начале XX в. взаимосвязь между элементами водного баланса в различных физико-географических условиях, внес существенный вклад в решение вопроса о выборе методики определения нормы суммарного испарения.

Формула Р. Шрейбера имеет вид (цит. по [6]):

$$E = P \times (1 - e - K/P),$$

где  $K$  – максимально возможное испарение при увлажненном состоянии или испаряемость почвы.

Исследование взаимосвязей климатических характеристик и речного стока, не утратившее своего значения до настоящего времени, проведено современником Р. Шрейбера – известным русским гидрометеорологом Э. М. Ольдекопом [8]. Им предложены формулы, выявившие зависимость испарения и стока от испаряемости почвы [6].

Следует отметить, что в 30-х гг. XX в. гидрологи стали уделять больше внимания малым

речным бассейнам, в которых взаимосвязь процессов и явлений происходила на сравнительно однородном климатическом фоне.

40-е гг. интересны созданием в физической географии теории «выходного звена» или интегративного показателя, за который С. Д. Муравейский принимал сток [9], а М. И. Будыко – соотношение тепла и влаги [10]. Согласно концепции С. Д. Муравейского о трёх интегрирующих факторах ландшафта – стоке, климате и рельефе – наиболее активным географическим фактором является сток [9]. Учёный на первый план в поиске движущей силы развития выдвигал познание парагенезиса и парадинамики процессов, а также их количественное выражение [11].

В 1948 г. в работах климатолога и географа А. И. Воейкова сформулирован основной закон круговорота воды в природе: «При прочих равных условиях страна будет тем богаче текущими водами, чем обильнее осадки и чем меньше испарение с поверхности почвы, вод, растений. Таким образом, реки можно рассматривать как продукт климата» [7, с. 86].

В 50-х годах формулы Э. М. Ольдекопа нашли дальнейшее развитие в исследованиях климатолога М. И. Будыко, предложившего для оценки испаряемости почвы использовать отношение радиационного баланса увлажненной поверхности  $R_0$  к удельной теплоте испарения  $L$  [10]

$$E_0 = R_0 / L,$$

и тем самым впервые увязавшего уравнения водного и теплового балансов.

В 50–60-х гг. уровень изученности комплекса физико-географических факторов был недостаточно высоким, хотя исследования В. Г. Глушкова подчёркивают факт влияния на гидрологические процессы геологии, геоморфологии, почв, растительности [12]. Довольно ясно осознавалось соотношение данных факторов и их взаимодействие. М. И. Львовичем в 1963 г. выделена закономерность существования различной степени влияния факторов на сток в зависимости от особенностей местоположения района [13].

Исследования гидрологических свойств ландшафтов, (А. И. Субботин [14]), лесных геосистем (А. А. Молчанов [15] и др.) в той или иной степени сформировали общие представления об особенностях функционирования природных систем с учетом роли водных объектов. Например, А. А. Молчанов [15] и многие другие исследователи обратили внимание на неоднозначность соотношения значений суммарного испарения с лесных и безлесных водосборов.

Важным этапом в развитии теории гидрологических явлений служит процесс разработки и использования зонально-ландшафтного метода, основанного на географо-гидрологическом методе В. Г. Глушкова [цит. по 16]. В разработку данного направления в гидрологии большой вклад внесли



Львович М. И., А. И. Субботин, Е. С. Змиева и др. Главное научное и практическое значение зонально-ландшафтный метод изучения гидрологического режима имеет для малых и средних рек [17].

Следует отметить, что в конце XX в. практическая значимость приведённых выше исследований возросла: они стали широко использоваться для восстановления естественных характеристик стока речных водосборов, подверженных интенсивной хозяйственной деятельности.

В работе «Гидрологическая роль лесных геосистем» [18] проведен анализ взаимодействия лесных геосистем и гидрологических процессов в различных природных условиях и на разном пространственном уровне с учетом представлений о своеобразии ландшафтно-гидрологических зависимостей, а также гидрологической значимости принадлежности объектов геосистем к системам более высокого ранга и их пространственного размещения относительно друг друга. Например, в одних ситуациях можно говорить о росте осадков и стока при увеличении лесистости, в других эти тенденции имеют обратный знак. При обобщении закономерностей на региональном уровне и выше роль лесной растительности сводится к влиянию на климатические элементы, а важные для исследований на топологическом уровне таксационные и биометрические показатели влияния на гидрологические процессы не оказывают [7].

Таким образом, можно считать, что ландшафтно-гидрологические системы обладают таким важнейшим свойством, как пространственная иерархия, предопределённая спецификой закономерностей взаимодействия процессов и структур каждого уровня и типа объектов.

Задачи гидрологических классификаций и районирования территории имеют большую историю своего решения. Они связаны с именами Б. Д. Зайкова, М. И. Львовича, Д. А. Буракова, В. А. Земцова, Л. К. Давыдова, П. С. Кузина, В. И. Бабкина и других исследователей. Наиболее интересными следует считать классификации с генетически обоснованным выделением единств по гидрологическим признакам. Например, в работе Д. А. Буракова и В. А. Земцова выделенные по минимальному стоку системы обоснованы особенностями геологического строения и литологией [19].

При разработке частных ландшафтно-гидрологических классификаций (ландшафтно-лимнической, лесогидрологической, гидрогеологической и структуры подземного стекания вод и др.) использовались методы формальной классификации. Из данной группы методов при исследовании гидрологической организации территории Западной Сибири независимо друг от друга применены Вроцловская таксономия и иерархический кластер-анализ [7]. При этом подбором исходной информации о гидрологических процессах и определяющих их географических характеристиках добивались получения наиболее

генетически обоснованной картины ландшафтно-гидрологической дифференциации. Примером может служить классификация бассейнов Сибири по их величине с выделением очень малых, малых, средних, больших и крупнейших речных систем. При классификации речных бассейнов целесообразно применять порядковый алгоритм Хортон – Стралера, позволяющий выбрать объекты с наивысшей степенью пространственной репрезентативности [20].

Применение бассейнового принципа при исследовании закономерностей водного баланса заслуживает отдельного внимания, поскольку речной бассейн является основной таксономической и расчётной единицей геосистемного анализа гидрологических проблем. Бассейн служит «узловым» объектом исследований, обладающим значительным интегрирующим фактором – водным потоком. Изучение речных бассейнов как территориальных ячеек перспективно не только в гидрологической науке, но и, например, при природно-хозяйственном районировании.

Идея бассейнового подхода существовала ещё в эпоху Нового времени (XVII – XVIII вв.) в Западной Европе. Так, Ф. Бюашем в работе «Очерк физической географии» (1752) пространства глобального уровня дифференцировались по речным бассейнам. Позже эта идея продолжила своё развитие в трудах И. К. Гаттерера, отождествлявшего бассейны стока с природными районами [2]. Применение данных концепций стало впоследствии возможным и на региональном уровне.

Важной современной проблемой гидрологических исследований является ухудшение гидроэкологического состояния водоёмов, подверженных антропогенному воздействию. Методологической основой её решения является бассейновая концепция организации территории, предложенная Л. М. Корытным [21]. Данный подход занимает одну из ведущих позиций в решении прикладных геоэкологических задач. Структуры склонового строения и строения гидрографической сети бассейнов весьма чувствительны к антропогенной нагрузке, причём наиболее уязвимы разнопорядковые водотоки и эрозионные формы рельефа. Через изменения своего состояния вследствие постоянного накопления потоков вещества и энергии они реагируют на внешние воздействия [22].

Для выявления пространственных различий в строении и типологии речных бассейнов города Саратова активно используется известная система Стралера – Философова [23], позволяющая уточнить структурно-морфометрический план территории и обозначить наиболее подверженные негативному антропогенному воздействию участки города.

В последнее время многие работы посвящены исследованию причин ускоренной деградации малых и средних рек [24]. Так, в Белгородской области, где высока интенсивность эрозионных



процессов, уделяется значительное внимание изучению изменений в состоянии речных бассейнов. Одной из острейших проблем является зарегулированность стока малых рек прудами и водохранилищами. Аналогичная ситуация существует и на малых реках Саратовской области.

При изучении изменений природной среды всё большее значение приобретают методы определения различных морфометрических характеристик речных бассейнов. Под бассейном понимается ограниченная водоразделами часть земной поверхности с учётом толщи почвогрунтов, откуда происходит сток вод в отдельную реку или речную систему, озеро, водохранилище. Технологии геоинформатики, применяемые для обработки, систематизации и анализа данных при картографировании водосборных бассейнов, позволяют получить морфометрические карты.

Современная гидрология располагает большим арсеналом взаимодополняющих друг друга методов познания гидрологических процессов. Важнейшее место среди них занимают методы полевых исследований, которые подразделяются на экспедиционные и стационарные. Большинство результатов стационарных наблюдений на сети гидрологических станций и постов публикуется в материалах Государственного водного кадастра (ГВК). Среди публикуемых материалов ГВК – каталоги водных и водохозяйственных объектов, ежегодные и многолетние данные о режиме и др. Широко используются в гидрологии методы экспериментальных исследований. При анализе материалов гидрологических наблюдений широко используются эмпирические и статистические методы. Теоретические методы анализа гидрологических процессов включают приемы географического обобщения, картографирования и районирования, методы математического и имитационного моделирования, системный анализ (например, при изучении влияния леса на сток) и др.

Исходя из рассмотренных в данной статье материалов, можно отметить, что в развитии теоретических и экспериментальных основ ландшафтно-гидрологических исследований ключевым моментом является уточнение генетической сущности выделяемых систем, особенностей их пространственного сопряжения, закономерностей перехода от систем одного пространственного уровня к другому, более высокому уровню.

На протяжении истории развития знания географами, гидрологами, гидрометеорологами выдвигались различные подходы и методы ландшафтно-гидрологического анализа геосистем. Бассейновую концепцию ландшафтно-гидрологического анализа можно считать основной при проведении исследований влагооборота геосистем. В настоящее время немаловажное значение приобретают усовершенствование методов гидрологического обеспечения комплексных географических прогнозов и экологических экспертиз, решение разнообразных водно-экологических проблем,

проектирование и обоснование водоохраных мероприятий.

С усложнением водно-экологических проблем в различных регионах появляются новые сферы применения ландшафтно-гидрологического анализа при изучении геосистем. Необходимо дальнейшая разработка прикладных аспектов ландшафтно-гидрологических исследований, прежде всего, в области познания гидрологических процессов и явлений как факторов развития и функционирования природных систем.

### Библиографический список

1. Вернадский В. И. Избранные труды по истории науки. М., 1981. 359 с.
2. Максимов Г. Н. Очерки развития географического знания : учеб. пособие. Якутск, 1991. 115 с.
3. Исаченко А. Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование : учебник. М., 1991. 366 с.
4. Воейков А. И. Климаты земного шара и в особенности России // Избр. соч. : в 4 т. Т. 1. М. ; Л., 1948. С. 163–750.
5. Penk A. Untersuchungen über Verdunstung und Abfluss von grösseren Landflächen // Geogr. Abh. Bd. 5, № 5. S. 10–29.
6. Шикломанов И. А. Исследование водных ресурсов суши : итоги, проблемы, перспективы. Л., 1988. 152 с.
7. Ландшафтно-гидрологический анализ территории / А. А. Капотов, В. В. Кравченко, В. Н. Федоров [и др.]. Новосибирск, 1992. 208 с.
8. Ольдекоп Э. М. Испарение с поверхности речных бассейнов. Юрьев, 1911. 209 с.
9. Муравейский С. Д. Процесс стока как географический фактор // Изв. АН СССР. 1946. Т. X, № 3. С. 299–301.
10. Будыко М. И. Испарение в естественных условиях. Л., 1947. 136 с.
11. Научная электронная библиотека «Киберленинка» URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-teoretiches> (дата обращения : 20.05.2014).
12. Глушков В. Г. Вопросы теории и методы гидрологических исследований. М., 1961. 416 с.
13. Львович М. И. Человек и воды. Преобразование водного баланса и речного стока. М., 1963. 568 с.
14. Субботин А. И. Ландшафтно-гидрологический принцип изучения, расчёта и прогноза стока талых и дождевых вод // Метеорология и гидрология. 1967. № 12. С. 50–57.
15. Молчанов А. А. Гидрологическая роль леса. М., 1960. 487 с.
16. Кузин П. С., Бабкин В. И. Географические закономерности гидрологического режима рек. Л., 1979. 200 с.
17. Нежиховский Р. А. Русловая сеть бассейна и процесс формирования стока воды. Л., 1971. 474 с.
18. Гидрологическая роль лесных геосистем / А. Н. Антипов, С. В. Марунич, С. Ф. Федоров [и др.]. Новосибирск, 1989. 168 с.
19. Бураков Д. А., Земцов В. А. Исследование и расчёты характеристик стока рек лесной зоны Западно-Сибирской равнины // Теория и методы гидрологических расчётов : тр. V Всесоюз. гидрол. съезда. Т. 6. Л., 1989. С. 429–436.



20. Хортон Р. Е. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. М., 1948. 158 с.
21. Корытный Л. М. Бассейновая концепция в природопользовании. Иркутск, 2001. 163 с.
22. Горбовская Т. В., Копнина В. В. Применение бассейнового подхода в геоэкологических исследованиях (на примере города Саратова) // Географические исследования в Сарат. гос. ун-те : сб. науч. тр. Саратов, 2008. С. 80–87.
23. Симонов Ю. Г., Симонова Т. Ю. Смена состояний,

структура и функционирование речных бассейнов как сложных геоморфологических систем // Эколого-геоморфологические исследования. М., 1996. С. 59–63.

24. Лисецкий Ф. Н., Дегтярь А. В., Николенко Е. Н., Марциневская Л. В. Изменения состояния бассейнов малых рек (на примере реки Болховец) // Пятнадцатое пленарное межвуз. координац. совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов (г. Волгоград, 3–5 октября 2000 г.) : докл. и краткие сообщения. Волгоград ; М., 2000. С. 134–135.

УДК 911.52 (470.44)

## ЛАНДШАФТНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ САРАТОВСКОГО ПРЕДВОЛЖЬЯ: ОТ РЕГИОНАЛЬНОГО К ЛОКАЛЬНОМУ УРОВНЮ

В. З. Макаров, Н. В. Пичугина, В. А. Затонский,  
Ю. А. Лисман, Д. П. Хворостухин<sup>1</sup>, Е. С. Заботина<sup>2</sup>



<sup>1</sup> Саратовский государственный университет

<sup>2</sup> Российский концерн «Дубки», Саратов

E-mail: makarovvz@rambler.ru; pichuginan@mail.ru

Статья посвящена вопросам ландшафтного картографирования геосистем регионального и локального уровня на примере Саратовского Правобережья. Картографирование проведено с использованием геоинформационных технологий на основе топографических и тематических карт, дешифрирования космических снимков.

**Ключевые слова:** картографирование, ландшафтное районирование, лесостепь, степь, Саратовская область, Правобережье.

### Saratov Predvolzhja Landscape Differentiation from Regional to Local Level

V. Z. Makarov, N. V. Pichugina, V. A. Zatonsky,  
Y. A. Lisman, D. P. Khvorostukhin, E. S. Zabolina

The article is devoted questions of regional and local level geosystems landscape mapping with Saratov region's right bank as an example. Mapping was organized with GIS technologies using on the basis of topographic and thematic maps and space images decoding.

**Key words:** mapping, landscape zoning, forest-steppe, steppe, Saratov region, Right Bank.

**Объектом исследования** является территория Саратовского Предволжья, занимающая 13 039,5 км<sup>2</sup>, что составляет 28,7% от площади Саратовского Правобережья и 12,9% от площади Саратовской области.

**Цель работы** – создание карты, отражающей ландшафтную структуру Саратовского Предволжья до ранга ландшафта, и ее использование для ландшафтного картографирования на локальном уровне.

**Исходные материалы и источники:** топографические и тематические карты, космические снимки, научные статьи и монографии, полевые материалы авторов за 2010–2013 годы.

**Методы исследования:** картографический метод с использованием геоинформационных технологий, сравнительно-аналитический метод.

**О названии и рубежах исследуемой территории.** В географических работах активно используются такие региональные названия, как «Юго-Восток Европейской части» [1], «Нижнее Поволжье» [2, 3], «Саратовское Правобережье» [4, 5] и «Саратовское Заволжье» [5]. В соответствии с источником [1] Юго-Восток Европейской части охватывает восточную половину юга Русской равнины и западную часть Южного Урала. На этой территории находятся Белгородская, Воронежская, Курская, Липецкая, Тамбовская, Самарская, Пензенская, Ульяновская, Саратовская, Волгоградская и Астраханская области, а также республики Башкирия, Татарстан и Калмыкия [1]. Восточно-Европейская равнина приурочена к Русской платформе, юго-восточную часть которой, согласно А. В. Вострякову [6], представляют восточный склон Воронежской и южный склон Волго-Уральской антеклиз, а также северная окраина Прикаспийской синеклизы.

Несколько реже употребляются названия «Саратовское Поволжье» [7], «Саратовское Приволжье» [8] и «Саратовское Предволжье» [9]. Г. И. Лотоцкий и С. А. Новиков [7] в Саратовское Поволжье включают всю территорию Саратовской области, в пределах которой, наряду с бассейном Волги, представлены бассейны Дона и Камыш-Самарских озер [10]. В. З. Макаров с соавторами [8] к Саратовскому Приволжью относит левобережные террасы Волги шириной 30–40 км, правобережные земли, прилегающие к Волге на расстоянии 15–20 км, а также акватории Саратовского и Волгоградского водохранилищ в границах Саратовской области. Правобережную часть Приволжья В. З. Макаров с соавторами [8, 9] определяет как «Саратовское Предволжье»



и рассматривает его в пределах Хвалынского, Вольского, Воскресенского и Красноармейского муниципальных районов.

В процессе дальнейших исследований появилась необходимость в уточнении границ Саратовского Предволжья. Анализ возможностей использования для решения этой задачи границ административных районов, ландшафтов и речных бассейнов показал, что для изучения Предволжья в его широком географическом смысле наиболее удобны и естественны природные рубежи речных бассейнов и ландшафтов. Поэтому авторы приняли за западный предел Саратовского Предволжья границу между бассейнами Волги и Дона, а за восточный – границу акватории Волги и волжских водохранилищ на правом берегу. Ши-

рина рассматриваемой территории варьирует от 5–25 км на крайнем юге до 60–88 км в центре и на севере. Максимальная высота достигает 369 м над у.м. на Волго-Терешкинском междуречье в 6 км от Волги к западу от Хвалынска. Урез воды в Волгоградском водохранилище составляет 15 м, в Саратовском водохранилище – 28 м.

**Ландшафты Саратовского Предволжья.**

На рассматриваемой территории представлены лесостепные и степные ландшафты, приуроченные к восточному (волжскому) макросклону Приволжской возвышенности (рис. 1).

*Южная лесостепь* в виде «языков» спускается к югу по междуречью Волги и Терешки, а также по водоразделу Терешки с Узой и Медведицей. Доля лесостепи составляет около

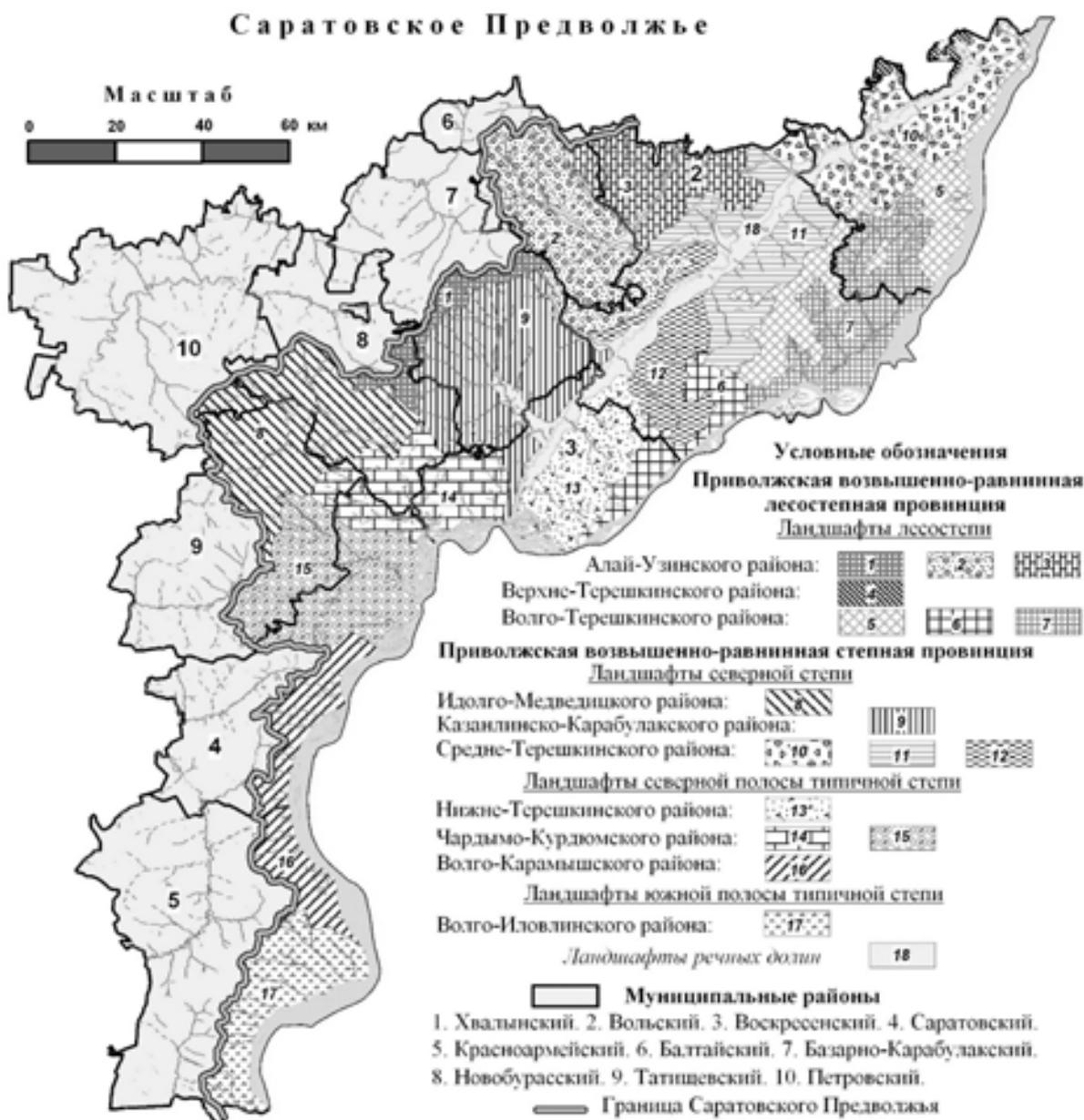


Рис. 1. Ландшафтная организация Саратовского Предволжья



30,6% от площади Предволжья (табл. 1). Возвышенно-равнинная поверхность расчленена верховьями рек, долинами балок и оврагов, сложена меловыми (глины, пески, опоки, мел, мергель, песчаники) и палеогеновыми (опоки, пески, песчаники) отложениями. Пестрота почвообразующих пород, различие гипсометрического положения и условий увлажнения определяют раз-

нообразии почв. Здесь встречаются черноземы выщелоченные и оподзоленные, серые лесные почвы, а также черноземы неполноразвитые слабо- и среднекаменистые. Древесный ярус в основном формируют дуб черешчатый и липа мелколистная с участием березы, клена, осины и др. На выходах мела и на песках сохранились сосновые массивы.

Таблица 1

## Ландшафтная структура Саратовского Предволжья

Ландшафтные районы	Ландшафты	Площадь, %
<b>Южная лесостепь</b>		<b>30,6</b>
Алай-Узинский	1. Карабулакско-Верхне-Медведицкий	2,1
	2. Алайско-Казанлинский	7,7
	3. Донгуз-Калмантайский	4,8
Верхне-Терешкинский	4. Кулаткинско-Карагужский	0,5
Волго-Терешкинский	5. Тепловско-Хвалынский останцовый	6,3
	6. Змеевогорский останцовый	2,8
	7. Терсинско-Новояблонский	6,4
<b>Северная степь</b>		<b>33,4</b>
Идолго-Медведицкий	8. Колышлейско-Сокурский	9,5
Казанлинско-Карабулакский	9. Карабулакский	9,2
Средне-Терешкинский	10. Лебежайско-Мазский	5,8
	11. Чернавско-Избалыкский	5,3
	12. Багайско-Нижне-Алайский	3,6
<b>Северная полоса типичной степи</b>		<b>23,7</b>
Нижне-Терешкинский	13. Елшанско-Березовский	4,6
Чардымо-Курдюмский	14. Нижне-Чардымский	5,9
	15. Гусельско-Курдюмский	8,1
Волго-Карамышский	16. Багаевско-Пудовкинский	5,1
<b>Южная полоса типичной степи</b>		<b>5,1</b>
Волго-Иловлинский	17. Каменско-Белогорский	5,1
<b>Интразональные ландшафты</b>		
18. Ландшафты речных долин без акваторий волжских водохранилищ		7,2
Всего		100

Около 62,2% территории Саратовского Предволжья занимают степные комплексы. *Северная степь* (33,4%) от верховьев Чардыма по долине Терешки далеко продвигается на север между лесостепными островными массивами. Преобладают высоты 100–180 м, однако вблизи водораздела Чардыма и Курдюма с верховьями левых притоков Медведицы (рр. Идолга, Колышлей) отдельные останцы поднимаются до 300–320 м. Среди почв преобладают черноземы обыкновенные, которые сочетаются с черноземами неполноразвитыми в разной степени каменистыми. Растительный покров представлен богаторазнотравно-типчаково-ковыльными сообществами с участием кальцефитов на карбонатных почвах и петрофитов на каменистых субстратах.

Неширокой полосой (5–35 км) от низовьев Терешки, Чардыма и Курдюма к югу до границы с Волгоградской областью простирается *типичная степь* (28,8%). Абсолютные высоты варьируют от 15 м (урез воды в Волгоградском водохранилище) до 250–290 м на границе бассейнов Волги и Дона. В почвенном покрове северной полосы типичной степи представлены черноземы южные, в пределах южной полосы – темно-каштановые почвы. Наряду с ними встречаются черноземы неполноразвитые, каштановые неполноразвитые почвы, лугово-черноземные и лугово-каштановые почвы, а также комплексы зональных почв с солонцами. Растительный покров северной полосы характеризуется разнотравно-типчаково-ковыльными сообществами, южной полосы – типчаково-ко-



вильными ассоциациями с участием петрофитов на выходах пород и галофитов на солонцах. На водораздельных останцах, в верховьях некоторых балок и оврагов сохранились небольшие лесные массивы.

В пределах Саратовского Предволжья частично находятся территории десяти муниципальных районов области (табл. 2). В группу «первой линии» входят районы, примыкающие на востоке к Саратовскому и Волгоградскому водохранилищам, за ними следуют районы «второй линии». Наиболее удален от Волги и волжских водохранилищ Петровский район, отнесенный к третьей

группе («линии»). Необходимо отметить, что от 48,1 до 93,5%, а в среднем 67,9% территории районов первой линии размещается в бассейне Волги. Исключением является Красноармейский район (29,1%), через который проходит граница между бассейнами Волги и Дона, приближаясь к Волге до 5 км. Из районов второй линии около 74,1% территории Балтайского района размещается в пределах Предволжья, что определяется приуроченностью большей части его площади к правобережью Терешки. Для остальных районов этой группы данный показатель варьирует от 51,5 до 59,6%.

Таблица 2

Структура Саратовского Предволжья в границах административных районов

Административные районы	Площадь района, км <sup>2</sup>	В том числе в пределах Саратовского Предволжья, %	Доля от площади Саратовского Предволжья, %					
			Всего	В том числе в пределах природных подразделений*				
				ЛсЮ	СС	СТс	СТю	ДР
<b>«Первой линии»</b>	<b>12843,8</b>	<b>67,9</b>	<b>66,8</b>	<b>21,7</b>	<b>16,1</b>	<b>17,8</b>	<b>5,1</b>	<b>6,1</b>
Хвалынский	1927,0	89,9	13,3	6,4	5,5	–	–	1,4
Вольский	3866,2	93,5	27,7	14,5	9,4	–	–	3,8
Воскресенский	1481,5	88,6	10,1	0,8	1,2	7,2	–	0,9
Саратовский	2279,5	48,1	8,4	–	–	8,4	–	–
Красноармейский	3289,6	29,1	7,3	–	–	2,2	5,1	–
<b>«Второй линии»</b>	<b>7372,1</b>	<b>57,4</b>	<b>32,5</b>	<b>8,9</b>	<b>16,6</b>	<b>5,9</b>		<b>1,1</b>
Балтайский	1236,4	74,1	7,0	6,5	–	–	–	0,5
Базарно-Карабулакский	2296,0	51,5	9,1	1,6	6,9	–	–	0,6
Новобураский	1729,2	59,6	7,9	0,8	5,4	1,7	–	–
Татищевский	2110,5	52,4	8,5	–	4,3	4,2	–	–
<b>«Третьей линии»</b>	<b>2327,4</b>	<b>3,8</b>	<b>0,7</b>	–	<b>0,7</b>	–	–	–
Петровский	2327,4	3,8	0,7	–	0,7	–	–	–
Всего	22543,3	57,8	100	30,6	33,4	23,7	5,1	7,2

\**Природные подразделения*: ЛсЮ – лесостепь южная, СС – степь северная, СТс – степь типичная (северная полоса), СТю – степь типичная (южная полоса), ДР – интразональные ландшафты долин рек без учета акваторий волжских водохранилищ.

Следует отметить, что 66,8% Саратовского Предволжья приходится на районы первой линии, в которых с севера на юг наблюдается переход от лесостепей (21,7%) к северным (16,1%) и типичным (22,9%) степям, причем эти геосистемы характеризуются близким долевым участием. В районах второй линии, приуроченных к наиболее широкой части (60–88 км) рассматриваемой территории, большее представительство получили северо-степные ландшафты, а меньше всего – типично-степные.

В 1982 г. коллектив авторов [11] провел районирование Саратовской области и выделил семь экономических сельскохозяйственных микрозон. Административные районы, находящиеся в пределах Саратовского Предволжья, согласно этому районированию [11], вошли в следующие микрозоны: *Северная правобережная* (Хвалынский, Вольский, Воскресенский, Балтайский,

Базарно-Карабулакский, Новобураский и Петровский районы); *Пригородная* (Саратовский и Татищевский районы); *Центральная правобережная* (Красноармейский район). В Центральной и Северной микрозонах рекомендуется выращивать озимые культуры, подсолнечник и сахарную свеклу, в засушливые годы – поздние теплолюбивые и пожнивные культуры [11]. Авторы [11] считают, что для этих микрозон характерна скотоводческо-зерновая специализация, а для Пригородной микрозоны – скотоводческая специализация с развитым птицеводством, с выращиванием овощных и плодовых культур, подсолнечника. Для всех правобережных микрозон существует опасность развития водной эрозии.

Учитывая то, что природные ландшафты Предволжья трансформированы в процессе хозяйственного освоения, следующим этапом исследования территории должен стать анализ



сложившейся структуры природопользования. Для этого можно предварительно выделить следующие природно-хозяйственные подразделения: Узинско-Верхне-Терешкинский лесостепной, Волго-Терешкинский лесостепной, Верхне-Чардымско-Терешкинский северо-степной, Курдюмско-Нижне-Терешкинский типично-степной и Багаевско-Белогорский типично-степной.

**Локальный уровень исследования.** Для детального исследования какой-либо территории необходим переход от регионального уровня к ло-

кальному таксономическому уровню. В качестве примера выбран город Саратов, ландшафтная и функциональная структура которого рассматривалась многими авторами [10, 12–14 и др.]. Однако не всегда названия, границы и таксономические единицы соотносились с подразделениями регионального уровня. Для устранения подобной несогласованности была составлена схема (рис. 2), учитывающая ландшафтную структуру Саратовской области [10], Саратовского Правобережья [15] и Саратовского Предволжья (см. рис. 1).

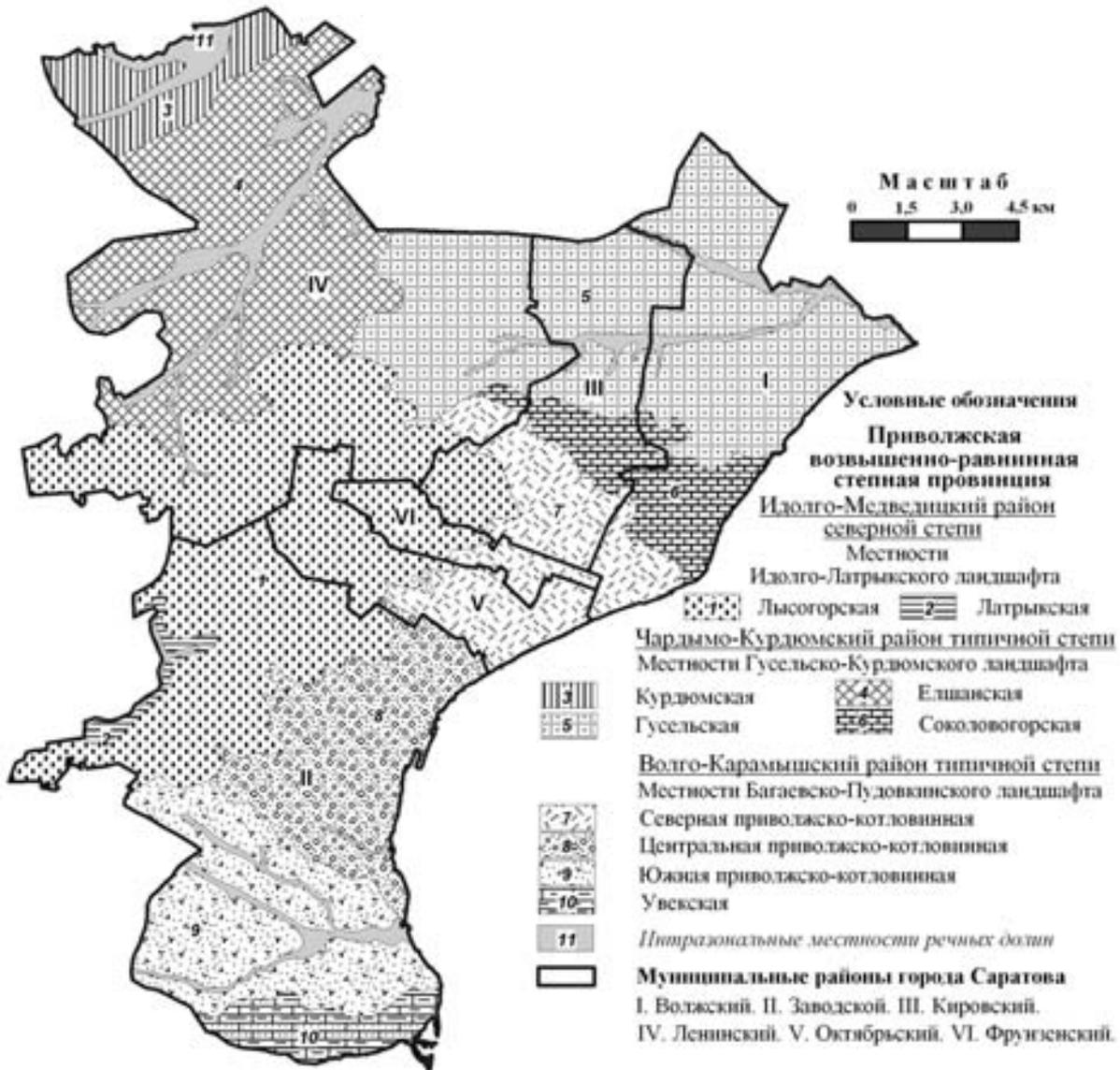


Рис. 2. Ландшафтная структура города Саратова

Север и восток Саратова находятся в пределах бассейна Волги, а Лысогорский массив дренируется реками Донского бассейна. Саратовское Предволжье здесь представляют ландшафты Чардымо-Курдюмского и Волго-Карамышского районов типичной степи, которые подразделяются далее на местности. Следующим уровнем картографирования и исследования является выявление геосистем,

формирующих структуру местностей (рис. 3). Анализ рис. 3 показывает, что на рассматриваемом участке города Саратова преобладают склоновые поверхности (81,1%), из которых наибольшие площади приходятся на территории с уклонами 1–3° (27,3%), 3–5° (18,9%) и 5–10° (15,8%). Около 9,1% занимают водораздельные геосистемы и 9,8% – долинные комплексы.

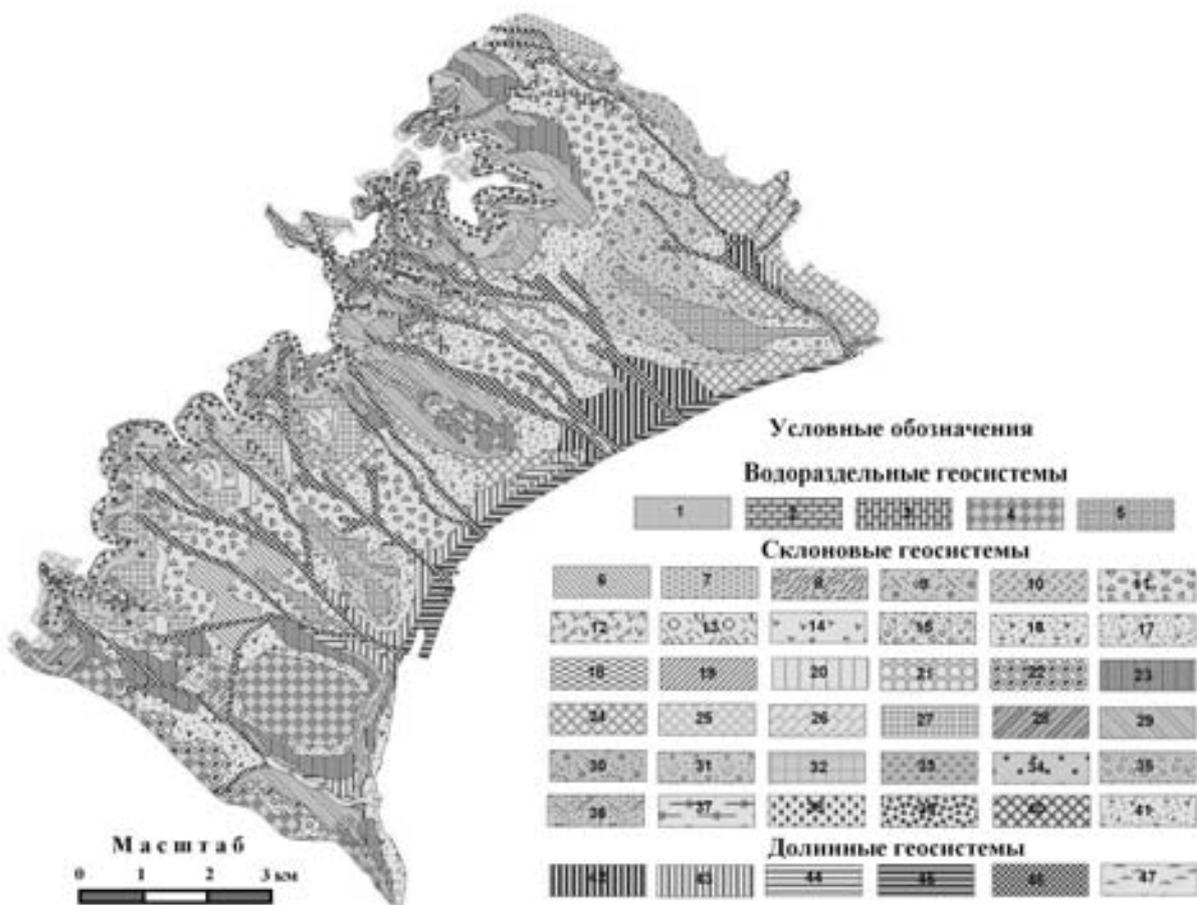


Рис. 3. Ландшафтная структура Северной и Центральной приволжско-котловинных местностей и уступа Лысогорского массива в пределах г. Саратова

**Приволжская возвышенно-равнинная степная провинция**

*Водораздельные геосистемы*

1 – плоские и слабовыпуклые водораздельные пространства (выше 220–240 м) с лесными массивами на серых лесных почвах и разнотравно-злаковыми сообществами на черноземах обыкновенных и черноземах неполноразвитых, сформированных на песчаниках, опоках и песках;

2–5 – плоские и слабовыпуклые водораздельные пространства с поlyingно-злаковыми сообществами на черноземах южных и черноземах неполноразвитых, приуроченных: 2 – к высотам 180–220 м и сформированных на суглинках с дресвой и щебнем опоки и мергеля; 3 – к высотам 100–180 м и сформированных на опоке, мергеле, алеврите и алевролите; 4 – к высотам 75–150 м и сформированных на опоке и мергеле; 5 – к высотам менее 100 м и сформированных на суглинках и мергеле.

*Склоновые геосистемы*

Склоны (уклон, град.)	Почвообразующие породы*							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0–1	6	–	–	–	7	8	9	10
1–3	11	12	13	14	15	16	17	18
3–5	–	19	20	21	22	23	24	25
5–10	–	26	27	28	–	29	30	31
10–15	–	32	33	34	–	35	–	36
Более 15	–	37	38	39	–	40	–	41

\* 1 – суглинки с дресвой и щебнем мергеля, 2 – суглинки с дресвой и щебнем опоки, 3 – суглинки с дресвой и щебнем опоки и мергеля, 4 – суглинки с дресвой и щебнем опоки и мергеля, алевритом и алевролитом, 5 – суглинки, супеси и пески с дресвой и щебнем опоки, 6 – суглинки, супеси и пески с дресвой и щебнем опоки и мергеля, 7 – суглинки, супеси и пески с дресвой и щебнем мергеля, 8 – суглинки и пески с дресвой и щебнем алеврита и алевролита.

*Долинные геосистемы*

42–44 – поверхности надпойменных террас (25–50 м) ранневалынского возраста: 42 – слабонаклонные (1–3°), 43 – пологие (3–5°), 44 – слабопокатые (5–10°), сложенные глинами, суглинками и песками с галькой и гравием;



- 45 – слабонаклонные (1–3°) поверхности надпойменных террас (ниже 25 м) позднехвалынского возраста, сложенные суглинками и песками с галькой и гравием;  
46 – долины балок и оврагов со смытыми и намытыми почвами под злаково-разнотравной и злаковой растительностью, с куртинами деревьев и кустарников;  
47 – долины малых рек с лугово-черноземными почвами под злаково-разнотравными, злаковыми, осоковыми и лугово-болотными сообществами, а также с фрагментами древесно-кустарниковой растительности

Наличие подобной карты, отражающей условно восстановленную структуру природного ландшафтного пространства, позволяет провести оценку исходного природного потенциала ландшафтов, а также использовать эту картографическую модель в качестве природной основы для выделения природно-антропогенных комплексов (урболандшафтных участков). Дальнейший анализ природно-антропогенной структуры будет способствовать выявлению участков с повышенной экологической напряженностью, снизить которую призван правильно организованный экологический каркас территории. Его составными элементами выступают, прежде всего, зеленые насаждения и водные объекты природного и антропогенного происхождения, долины балок и оврагов, ООПТ и др. Основой для подготовки проекта такого каркаса должны являться карты, отражающие ландшафтную структуру.

В процессе проведенной работы получены следующие результаты:

1. Определены границы и составлена карта ландшафтной дифференциации Саратовского Предволжья до уровня ландшафта.

2. Для проведения анализа сложившейся структуры природопользования Саратовского Предволжья выделены следующие природно-хозяйственные подразделения: Узинско-Верхне-Терешкинский лесостепной, Волго-Терешкинский лесостепной, Верхне-Чардымско-Терешкинский северо-степной, Курдюмско-Нижне-Терешкинский типично-степной и Багаевско-Белогорский типично-степной.

3. С учетом региональной ландшафтной структуры составлена карта, отражающая ландшафтную организацию города Саратова до уровня местности.

### Библиографический список

1. Юго-Восток Европейской части СССР / И. П. Герасимов, В. С. Преображенский, Г. Д. Рихтер [и др.]. М. : Наука, 1971. 460 с.
2. *Алексеевская Н. К.* История физико-географического районирования Нижнего Поволжья. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1980. 28 с.
3. *Добринина Н. Д., Лотоцкий Г. И.* История изученности и исследований природы Нижнего Поволжья. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2006. 36 с.
4. *Лотоцкий Г. И.* Некоторые особенности развития склоновых процессов Саратовского Правобережья // Вопросы физической географии и геоморфологии Нижнего Поволжья : межвуз. науч. сб. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1975. Вып. 3(7). С. 63–72.
5. География Саратовской области / под ред. Н. В. Тельтевской. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1993. 220 с.
6. *А. В. Востряков* Неогеновые и четвертичные отложения, рельеф и неотектоника юго-востока Русской платформы / под ред. Н. С. Морозова. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1967. 355 с.
7. *Лотоцкий Г. И., Новиков С. А.* Интенсивность денудации в Саратовском Поволжье // Геоморфология и картография : материалы XXXIII пленума Геоморфологической комиссии РАН, Саратов, 17–20 сентября 2013 г. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2013. С. 401–404.
8. *Макаров В. З., Чумаченко А. Н., Башкатов А. Н., Гусев В. А., Волков Ю. В., Проказов М. Ю., Фёдоров А. В., Данилов В. А., Затонский В. А.* Саратовское Приволжье : ландшафтная структура и современное геозоологическое состояние // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2012. Т. 12, вып. 1. С. 8–14.
9. *Макаров В. З., Чумаченко А. Н., Гусев В. А., Данилов В. А., Затонский В. А., Проказов М. Ю., Фёдоров А. В.* Линейная эрозия в Саратовском Предволжье // Геоморфология и картография. С. 584–588.
10. Учебно-краеведческий атлас Саратовской области / В. В. Аникин, Е. В. Акифьева, А. Н. Афанасьева и [др.] ; гл. ред. А. Н. Чумаченко, отв. ред. В. З. Макаров. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2013. 144 с.
11. Научнообоснованные системы земледелия Саратовской области на 1981–1985 годы / В. М. Бебякин, З. Н. Бобкова, В. Г. Бокарев [и др.] ; под ред. В. Н. Панова. Саратов : Приволж. кн. изд-во, 1982. 194 с.
12. *Макаров В. З.* Ландшафтно-экологический анализ крупного промышленного города. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2001. 178 с.
13. *Макаров В. З., Новаковский Б. А., Чумаченко А. Н.* Эколого-географическое картографирование городов. М. : Научный мир, 2002. 196 с.
14. Саратовский научно-образовательный геозоологический полигон : учеб. пособие. / А. В. Иванов, В. З. Макаров, А. Н. Чумаченко [и др.] ; под ред. А. В. Иванова, В. З. Макарова, А. Н. Чумаченко. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2007. 286 с.
15. *Макаров В. З., Пичугина Н. В.* Ландшафтное районирование Саратовского Правобережья // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2013. Т. 13, вып. 2. С. 13–16.



УДК 912:528.7 (470.44)

## МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МЕСТНОСТИ НА ОСНОВЕ ОДИНОЧНОГО СНИМКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИНЗОВОГО РАСТРА



А. В. Молочко, Т. В. Пятницына, А. В. Федоров,  
Д. П. Хворостухин

Саратовский государственный университет  
E-mail: farik26@yandex.ru

В статье описывается методика создания стереомодели местности на основе одиночного космоснимка высокого разрешения с использованием цифровой модели рельефа и последующей визуализацией полученного изображения при помощи линзового растра.

**Ключевые слова:** данные дистанционного зондирования Земли, трехмерная геопространственная информация, цифровая модель рельефа, стереоскопическая модель местности

### Methodic of Stereoscopic Terrain Model Creation Based on a Single Satellite (Space) Imagery by Means of Lens Raster

A. V. Molochko, T. V. Pyatnizyna, A. V. Fedorov,  
D. P. Khvorostukhin

Methodic of stereoscopic terrain model creation based on single high resolution space photo with using digital elevation model and following visualization this image by means of lens raster is described in the article.

**Key words:** remote sensing data, 3D spatial information, digital elevation model, stereoscopic terrain model.

Стереоскопические модели местности, формируемые по паре ортофотоизображений, уже более 100 лет успешно используются для решения базовой задачи фотограмметрии – определение плановых координат и высот точек местности. Совершенствовались теория, технология и методы получения и обработки аэрокосмоснимков, а также формы представления конечного продукта. Принципиальная схема использования стереомодели в практике географических исследований выглядит следующим образом: пара сопряженных ортофотоснимков → геометрическая стереомо-

дель → ортоплан, ЦМР, ЦММ → конечное картографическое произведение. С развитием новых технологий на смену традиционным топографическим картам с изолинейным изображением рельефа приходят новые геоинформационные продукты, в частности, создаваемые на основе цифровых моделей рельефа и космоснимков трехмерные видеомодели местности с реализованной возможностью 3D визуализации [1–3]. Следует отметить, что речь здесь идет именно о видеоряде, т. е. серии плоских изображений, наблюдаемых с разных точек и под разными ракурсами. Для получения действительного стереоэффекта, основанного на особенностях зрительного восприятия человеком окружающего мира, т. е. стереоскопической модели, воспринимаемой наблюдателем в качестве психологической реальности, необходимо соблюдать ряд условий [4]. Обязательным условием является наличие как минимум двух перекрывающихся изображений – стереопары – для левого и правого глаз, а также специального устройства (оптического, анаглифического, поляризационного) для совмещения изображений в соответствии с естественной конвергенцией и аккомодацией глаз. Очевидно, что использование такой стереомодели имеет ряд неудобств, первое из которых связано с организационно-материальными сложностями и затратами на приобретение стереопары цветных космоснимков высокого разрешения на интересующую территорию, второе – с обязательным наличием оборудования для просмотра. Предлагаемая данным проектом методика позволяет решить обе эти проблемы, поскольку для создания стереоскопической модели достаточно одиночного космоснимка, а для просмотра итоговой стереокосмофотокарты не требуется дополнительных устройств. Общая схема данной методики представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема создания стереокосмофотокарты на основе одиночного космоснимка и ЦМР



Работа над проектом состояла из нескольких этапов:

- подготовка космоснимка;
- построение цифровой модели местности;
- построение карты глубины и расчет параллакса;
- создание стереоскопической модели;
- создание стереокосмофотокарты и совмещение изображения с линзовым растром.

В результате работы была создана стереоскопическая космофотокарта центральной части г. Саратова с горизонтальным масштабом 1 : 6 000.

В качестве основы для создания стереоскопической модели может быть использован снимок или космофотокарта с любым пространственным разрешением. Для апробации методики был взят фрагмент мультиспектрального космоснимка на центральную часть Саратова с пространственным разрешением 2 м. Космоснимок получен в рамках наполнения геопортала НВОЦ «ГИС-Центр» Саратовского государственного университета. В дальнейшем

была осуществлена пространственная привязка и трансформация снимка в проекцию цифровой модели рельефа с использованием программы ArcGIS. Для более удобного и естественного восприятия глазом человека структуры территории, а также с учетом частичного рассеивания света линзовым растром цветовая гамма и яркость снимка были откорректированы.

Способы построения цифровых моделей рельефа могут различаться в зависимости от масштаба и структуры территорий. Так, для больших по площади участков земной поверхности можно применять готовые цифровые модели, такие как SRTM или GTOPO. В нашем же случае площадь моделируемой местности невелика, в связи с чем использование мировых трехмерных моделей не даст необходимой точности. Поэтому нами была построена подробная цифровая модель рельефа с размером ячейки 2 м (рис. 2). Для рассматриваемой территории центральной части г. Саратова площадью приблизительно 31 км<sup>2</sup> размер GRID-модели составил 3458x2246 пикселей.

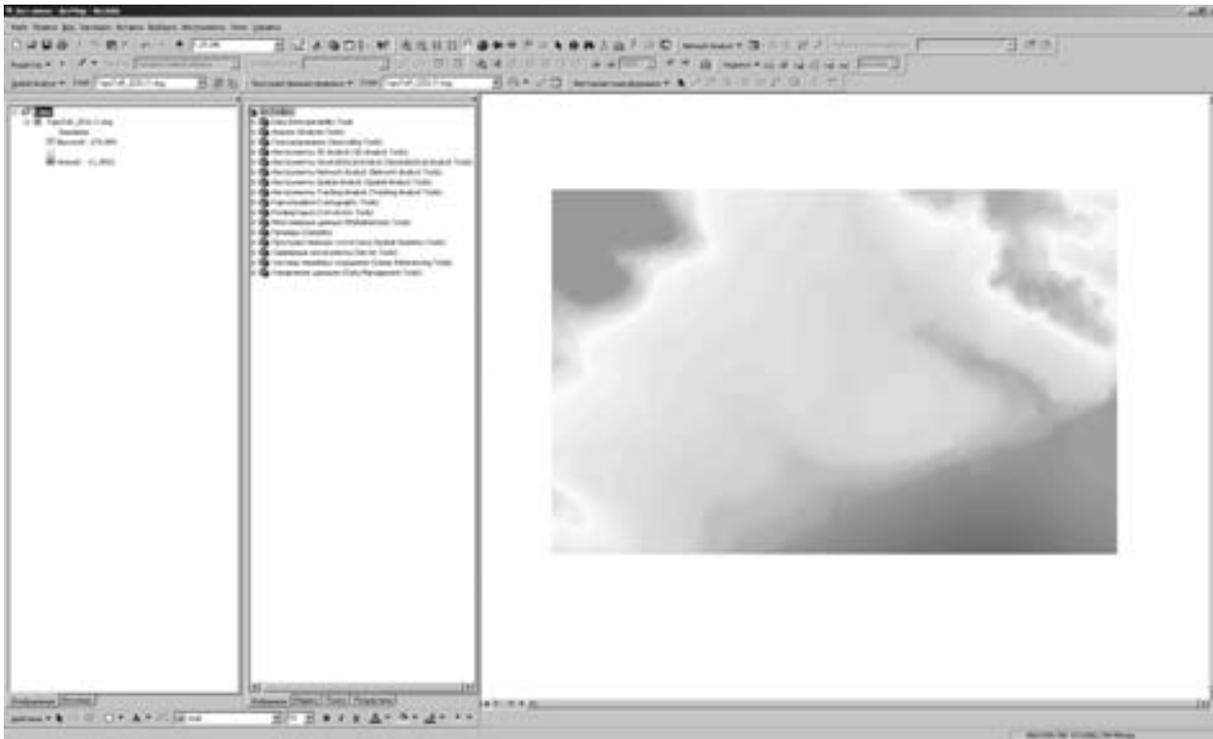


Рис. 2. Цифровая модель рельефа центральной части г. Саратов

Особенностью создания стереомodelей на территорию города является необходимость учитывать наличие высотных зданий, которые зачастую сопоставимы с высотой крупных форм рельефа. Именно поэтому использование цифровых моделей рельефа без дополнительной обработки не позволяет создать стереомodelь, в полной мере отражающую реальный вид местности. Для устранения подобных неточностей авторами данной статьи была создана цифровая модель местности с учетом высоты зданий. Для

этого использовалась цифровая карта Саратова, а именно слой «Строения». При помощи программного комплекса ArcGIS все объекты слоя были преобразованы в растровое изображение (рис. 3). Для того чтобы избежать пустых значений в растре, в модель был добавлен полигон с вырезанными строениями, покрывающий всю область моделирования. В растр были записаны значения высоты зданий, рассчитанные согласно этажности. Созданная таким образом ЦММ послужила основой карты глубины.

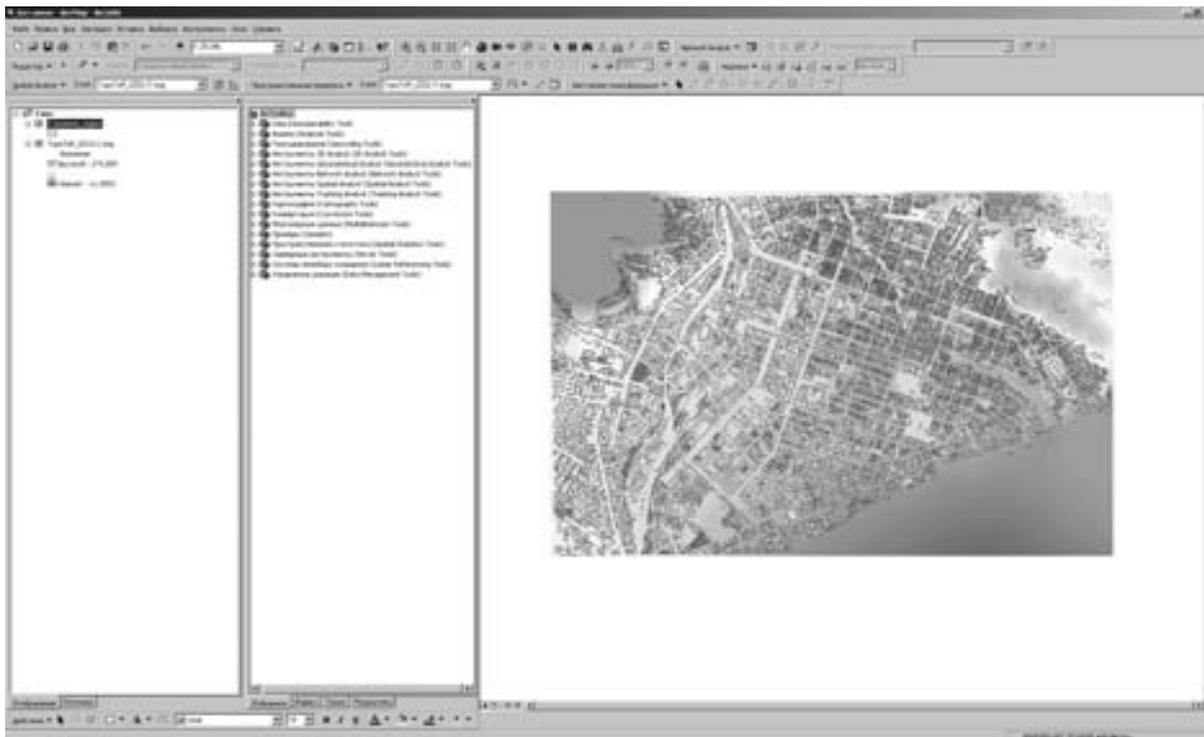


Рис. 3. Карта центральной части г. Саратов, совмещенная с ЦМР

Карта глубины представляет собой серую маску, которая при помощи градаций яркости отражает глубину расположения точек исходного изображения в пространстве стереомодели, а также определяет положение плана фокусировки (стереоокна). При этом точки переднего плана изображаются белым цветом, заднего – черным, промежуточные – серым цветом разной интенсивности в зависимости от глубины их расположения. Таким образом все точки изображения имеют яркостную характеристику, значения которой могут варьировать от 0 (черный) до 255 (белый) в палитре RGB, либо от 0 до 100% черного цвета в палитре CMYK. Расположение стереоокна между передним и задним планами имитирует конвергентную съемку с фокусировкой на средний уровень рельефа, что в нашем случае соответствует приблизительно уровню десятиэтажных зданий в центральной равнинной части города. Рельеф рассматриваемой территории имеет не слишком значительный перепад высот от 15 (зеркало водохранилища) до 250 м (Лысогорское плато), поэтому при создании карты глубины применялись средние градации яркости – от 40 до 60 % черного в палитре CMYK. Фактически карта глубины представляет собой растровую ЦММ, построенную с учетом этажности и оформленную по черно-белой цветовой схеме в заданных градациях яркости (рис. 4, 5). На основании карты глубины рассчитывается параллакс каждой точки исходного космоснимка при построении кадров псевдостереопар.

Обязательным условием корректного построения кадров псевдостереопар путем трансформации исходного изображения является точное соответствие размеров карты глубины размерам этого изображения. Для соблюдения данного условия оба растра совмещались в одном окне карты в программе MapInfo. Средствами программы карту глубины можно слегка откорректировать с целью более четкого отображения в пространстве создаваемой стереомодели отдельных элементов инженерной инфраструктуры (мостов, дорожных развязок) путем их дополнительной оцифровки с присвоением полученным полигонам нужного значения яркости. Впоследствии исходное изображение и карта глубины с наложенным на нее слоем корректировочной оцифровки поочередно экспортировались в растровый формат непосредственно из окна карты, что позволило обеспечить точное соответствие их пиксельных размеров.

Расчет параллакса и построение кадров псевдостереопар производились средствами программы Deep Matrix программного комплекса «Вариограф», разработанного сибирским инновационно-технологическим центром «Прогресс», для создания стерео- и вариоизображений и предназначенного для изготовления индивидуальных стерео- и вариофотографий и производства рекламной продукции. При вычислении параллакса и последующем построении (морфинге) ряда кадров программа учитывает карту глубины (отражающую диапазон изменения параллакса в пределах одного кадра) и заданное значение мак-



Рис. 4. Фрагмент космоснимка



Рис. 5. Фрагмент карты глубины

симального параллакса. Максимальный параллакс между кадрами стереопар, позволяющий сохранить устойчивый стереоэффект, связан с физиологическими характеристиками глаза (в частности, с остротой стереоскопического зрения и глазным базисом) и зависит от расстояния просмотра. В общем случае его модульное значение не должно превышать величины  $0,03 R$ , где  $R$  – расстояние от глаз зрителя до плоскости экрана (в нашем случае линзового растра) [5]. При ширине итогового изображения 910 мм (центральная часть города в масштабе 1 : 6 000) и расстоянии просмотра 2 м максимальный параллакс составит 60 мм, т.е. около 6% ширины изображения. Опытным путем было установлено, что для сохранения устойчивого стереоэффекта без потери глубины достаточно задать значение параллакса равное 4%.

Для создания стереомодели в принципе достаточно двух кадров, однако в этом случае стереоэффект сохраняется лишь при просмотре изображения под прямым углом. Применение линзового растра позволяет использовать несколько стереопар, переходящих друг в друга по цепочке, что значительно расширяет зону стереовидения. Максимальное количество стереопар зависит от угла конвергенции, определяемого расстоянием просмотра, и угла обзора растра, который рассчитывается исходя из шага растра и его толщины. Принимая, что  $\alpha = 2 \arctg(b/2r)$ , где  $r$  – расстояние просмотра, а  $b$  – глазной базис (65 мм), получаем, что при просмотре изображения с расстояния 2 м угол конвергенции глаз ( $\alpha$ ) составит приблизительно 2. Угол обзора линзового растра ( $\beta$ ) можно рассчитать по формуле  $\beta = 2 \arctg(d/2(t-d/2))$ , где  $t$  – толщина растра, а  $d$  – его шаг (т.е. ширина одной линзы). Таким образом, растр толщиной 2,08 мм с шагом 0,635 мм (40 LPI в международной классификации) имеет угол обзора равный 20. Учитывая обе эти величины (угол конвергенции глаз и угол обзора растра), получим, что с расстояния 2 м наблюдатель способен воспринять  $20^\circ/2^\circ = 10$  раз-

личных ракурсов изображения, создаваемых линзовым растром с данными характеристиками, т.е. 10 стереопар, составленных из 20 кадров. Однако количество стереопар, закодированных в единое изображение, ограничено разрешающей способностью печатающего устройства, иными словами, тем, какое количество точек изображения может быть воспроизведено под каждой линзой растра. Таким образом, расчет количества стереопар корректируется формулой  $N \text{ dpi}/n \text{ lpi}$ , где  $N$  – разрешение принтера,  $n$  – линейатура растра. При максимальном разрешении принтера 720 dpi получим  $720/40 = 18$  кадров.

Построение серии стереопар путем трансформации исходного космоснимка происходит на этапе морфинга, при котором каждый пиксел исходного ортофотоизображения при переходе от одного кадра к другому смещается на рассчитанную величину параллакса. При сдвиге пробелы в изображении достраиваются шлейфом пикселей того же цвета, что и исходные. В результате морфинга из одиночного снимка получаем 19 кадров (9 левых, 9 правых + исходный центральный), составляющих серию псевдостереопар. Полученные таким образом кадры в программе «Вариограф» совмещаются и кодируются в единое изображение, которое может быть экспортировано в один из растровых форматов.

Оформление итоговой космофотокарты производилось в программе Adobe Photoshop, где на кодированное растровое изображение были наложены подписи названий улиц, водохранилища, название карты и обозначение масштаба. При наложении линзового растра происходит оптическая трансформация полученного изображения и возникает стереоэффект, который благодаря использованию абсолютных значений высот (с учетом высоты зданий) для расчета глубины расположения объектов приближен к реальному восприятию вида местности.

Зная параллакс кадров псевдостереопар,



перепад высот на местности и расстояние просмотра, можно рассчитать полученную глубину изображения и вертикальный масштаб стереомодели. Глубина изображения ( $\Delta_1$ ), параллакс ( $p_1$ ) и расстояние просмотра ( $r$ ) связаны соотношением:

$$\Delta_1/(r-\Delta_1)=p_1/B,$$

где  $B$  – глазной базис [5]. Путем простых преобразований получим:

$$\Delta_1=p_1R/(B+p_1).$$

В нашем случае параллакс кадров в стереопаре составил 4 мм (910·0,04/9). При расстоянии просмотра 2000 мм и глазном базисе 65 мм получим глубину изображения относительно стереоокна равную 115 мм. Принимая во внимание центральное положение стереоокна, перепад высот на местности составил  $(250-15)/2 = 117,5$  м. Таким образом получим вертикальный масштаб модели приблизительно равный 1 : 1 000. Следует, однако, отметить, что подобные расчеты несут приблизительный характер, поскольку восприятие стереомодели во многом зависит от индивидуальных особенностей зрителя.

Разработанная методика может быть использована для создания и визуализации стереоскопических моделей местности в целях:

– визуальной оценки современного состояния и использования территории;

– предварительной оценки территории при проектировании;

– представления проекта застройки.

Кроме того, созданные модели могут быть использованы в качестве наглядного пособия в образовательных учреждениях.

#### Библиографический список

1. Аккерманн Ф. Современная техника и университетское образование // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2011. № 2. С. 8–13.
2. Тюфлин Ю. С. Информационные технологии с применением фотограмметрии // Геодезия и картография. 2002. № 2. С. 39–45.
3. Тюфлин Ю. С. Фотограмметрия – вчера, сегодня и завтра // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2011. № 2. С. 3–8.
4. Цифровая стереоскопическая модель местности: экспериментальные исследования / Ю. Ф. Книжников, В. И. Кравцова, Е. А. Балдина [и др.]. М. : Научный мир, 2004. 244 с.
5. Валюс Н. А. Стереоскопия. М. : АН СССР, 1962. 380 с.

УДК 551.589

## О ВЛИЯНИИ ПЛАНЕТАРНОЙ ВЫСОТНОЙ ФРОНТАЛЬНОЙ ЗОНЫ НА ИЗМЕНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КЛИМАТИЧЕСКОГО РЕЖИМА НА СЕВЕРНОМ ПОЛУШАРИИ

С. В. Морозова

Саратовский государственный университет  
E-mail: swetwl@yandex.ru

В настоящей статье рассматриваются вопросы влияния планетарной высотной фронтальной зоны (ПВФЗ) на климатический режим Северного полушария. Показана динамика площадей ПВФЗ относительно естественных климатических периодов состояния земной климатической системы (ЗКС). Найдена связь динамики площадей ПВФЗ с изменением ветрового режима на полушарии.

**Ключевые слова:** глобальный климат, планетарная высотная фронтальная зона, климатические изменения, ветровой режим.

### On the Influence of the Planetary Front High-Rise Zone to Change Some Characteristics of the Climatic Regime in the Northern Hemisphere

S. V. Morozova

This article considers the questions of influence of the planetary high-rise frontal zones (PVFS) on the climatic regime of the Northern hemisphere. Shows the dynamics of the areas PVFS relatively natural climatic periods state the earth's climate system. The connection of the



speakers areas PVFS with the wind regime change in the hemisphere.  
**Key words:** global climate, planetary high-rise frontal zone, climatic changes, wind regime.

Известно, что региональные климатические изменения в первую очередь вызываются аномалиями режима общей циркуляции атмосферы (ОЦА). Климатические гребни и ложбины мигрируют в течение десятилетий, участвуя в формировании циркуляционных эпох [1–3]. Однако спорным до сих пор остаётся вопрос о влиянии циркуляции на глобальный климат. Автором данной статьи опубликованы некоторые [4] результаты исследований влияния общей циркуляции атмосферы на глобальный климат. Настоящая статья является продолжением исследований возможности влияния глобальных объектов циркуляции на климатические процессы в масштабах полушария.

В качестве исследуемой характеристики глобального объекта циркуляции – планетарной высотной фронтальной зоны – выбрана её площадь,



ограниченная осевой линией. Исходными материалами послужили значения средних месячных площадей ПВФЗ, опубликованные в справочной монографии [5]. На основании этих данных рассчитаны средние многолетние значения площадей в различные естественные климатические периоды состояния ЗКС.

Динамика площадей ПВФЗ относительно естественных климатических периодов состояния ЗКС – периода стабилизации (1949–1974 г.г.) и второй волны глобального потепления (1975–2010 г.г.) – представлена в табл. 1.

На основе анализа табл. 1 заметим, что наиболее сильная изменчивость площадей ПВФЗ проявилась в период стабилизации (1949–1974 г.г.). На фоне второй волны глобального потепления

наблюдаем уменьшение изменчивости площадей. Заслуживает внимания тот факт, что от первого периода ко второму произошло увеличение площади ПВФЗ, что предполагает расширение области отрицательных аномалий температур.

Поскольку исследование динамики ПВФЗ проводится статистическими методами, представляется необходимым оценить статистическую значимость полученных результатов, что можно сделать с помощью стандартных процедур математической статистики. Для каждого временного отрезка рассчитаны доверительные интервалы с использованием критерия Стьюдента при 95%-ном уровне значимости. Доверительные интервалы для каждого периода приведены в табл. 2.

Таблица 1

**Динамика площадей планетарной высотной фронтальной зоны относительно естественных климатических периодов состояния ЗКС**

Период	Значение площади ПВФЗ, млн км <sup>2</sup>	$\sigma^2$ , млн км <sup>2</sup>	$\sigma$ , млн км <sup>2</sup>	$c_v$
1-й, 1949–1974 г.г. (стабилизация)	56,97	13,32	3,65	0,06
2-й, 1975–2010 г.г. (вторая волна глобального потепления)	57,77 (увелич. на 1,5%)	2,82	1,68	0,03

Таблица 2

**Оценка статистической значимости динамики ПВФЗ**

Период	Доверительные интервалы
1-й, 1949–1974 г.г. (стабилизация)	[49,61–62,32]
2-й, 1975–2010 г.г. (вторая волна глобального потепления)	[54,99–60,53]

Видим, что границы интервалов перекрываются, причём второй интервал даже входит в первый, что говорит о статистической незначимости обнаруженных изменений. Таким образом, изменение площадей на 1,5% вряд ли может приводить к каким-либо климатически значимым изменениям в ЗКС. Однако делать однозначные выводы об отсутствии влияния планетарной высотной фронтальной зоны на глобальный климат не стоит, так как применение статистических методов к природным процессам имеет известную долю условности [6,7]. Иногда очень малые начальные возмущения какого-либо компонента в земной климатической системе могут получить большой резонанс и вызвать довольно заметные изменения в ней. В связи с этим интересно узнать, в каких пределах изменения площадей ПВФЗ оказываются значимыми. Для этого решалась обратная задача, условием которой было отсутствие перекрытия интервалов при самых крайних возможных положениях математического ожидания на числовой прямой. Необходимые расчёты выполнялись по формуле (1) [5], что позволило получить среднюю широту расположения ПВФЗ при условии неперекрывания интервалов:

$$S = 2\pi R^2 (1 - \sin \varphi_{c,n}), \quad (1)$$

где  $\pi = 3,14159$ ;

$R = 6378,245$  км – радиус Земли у экватора;

$\varphi_{c,n}$  – средняя широта осевой изогипсы ПВФЗ по Северному полушарию.

Оказалось, что для достижения статистической значимости изменений область локализации ПВФЗ должна находиться в пределах 30–35° северной широты. В настоящее время планетарная высотная фронтальная зона расположена в области пятидесятых широт Северного полушария. Таким образом, выявлено, что для достижения статистической значимости изменений площадей планетарная высотная фронтальная зона должна сместиться на 15–20° южнее, соответственно на столько же окажутся смещёнными траектории циклонов, что, в свою очередь, приведёт к изменению положения аридных и гумидных областей, а следовательно, и природных зон. Таким образом, статистически значимая динамика ПВФЗ соответствует климатическим изменениям в масштабах крупных геологических эпох. Климатические реконструкции, выполненные по геологическим источникам и историческим материалам, показывают, что исключительно влажные условия, господствовавшие в засушливом ныне тропическом поясе, имели место при разрушении четвертичного оледенения и в ранний период эпохи голоцена. Следовательно, траектории циклонов и область локализации ПВФЗ располагались гораздо южнее, что способствовало хорошему увлажнению этих ныне засушливых областей [8–11]. Таким образом,



при существующих климатических изменениях статистическая значимость не может быть обнаружена, но заметные климатические изменения в земной климатической системе, проявившиеся в ходе глобальной температуры, имеют место.

Важно отметить, что замеченный рост средней площади ПВФЗ, предполагающий продвижение ПВФЗ в более южные широты и расширение зоны отрицательных аномалий температур, имел место при переходе от более холодного периода к более тёплому, что представляется не совсем логичным. Одним из возможных объяснений такого необычного поведения ПВФЗ может быть то, что ее смещение к югу приводит не столько к снижению средней полушарной температуры, сколько к изменению каких-либо других характеристик климатического режима, одной из которых может быть ветровой режим. Тогда влияние ПВФЗ на глобальный климат может проявиться в изменении активности и интенсивности одного из компонентов ЗКС – общей циркуляции атмосферы. Одним из объяснений несогласованности динамики площади ПВФЗ и хода глобальной температуры в естественные климатические периоды может быть произошедшее изменение каких-либо индивидуальных параметров ПВФЗ (размеров, интенсивности, извилистости и т. п.), что, безусловно, сказывается на активности и интенсивности циркуляции и отражается на ветровом режиме. Так, продвижение ПВФЗ в более южные или более северные широты может приводить к сужению или расширению зоны локализации ПВФЗ, что, в свою очередь, ведёт к обострению или ослаблению градиентов, повышению или снижению активности циркуляции и, следовательно, усилению или ослаблению скоростей ветра.

Попытаемся выяснить, как выявленная динамика площади ПВФЗ связана с изменением её активности. Для этого рассмотрим интенсивность планетарной высотной фронтальной зоны по данным справочной монографии [5] с 1949 по 2010 г. Авторами справочной монографии интенсивность высотной фронтальной зоны определялась как разность широт ( $\Delta\varphi$ ) расположения двух изогипс на меридиане южнее и севернее осевой изогипсы, при этом разность геопотенциальных высот расположения северной и южной изогипсы бралась одинаковой – 8 гп. дам. Если интенсивностью считать разность широт, то получается, что средняя интенсивность в июле (8° широты) оказывается больше, чем в январе (5° широты). Поэтому автор настоящего исследования для оценки интенсивности ПВФЗ отошёл от обратно пропорциональной зависимости активности ОЦА и разности широт, приняв для оценки интенсивности циркуляции величину геострофического ветра ( $V_g$ ) на среднем уровне тропосферы, рассчитав её по формуле (2):

$$V_g = \frac{9,8}{l} \frac{\partial H}{\partial n}, \quad (2)$$

где  $l$  – параметр Кориолиса ( $l = 2\omega \sin\varphi$ ),

$\frac{\partial H}{\partial n}$  – градиент геопотенциала,

$\omega$  – угловая скорость вращения Земли;

$\varphi$  – широта расположения осевой изогипсы.

Однако прежде чем переходить к анализу интенсивности ОЦА на фоне естественных климатических периодов состояния ЗКС, обратим внимание на интересные факты динамики площадей ПВФЗ и изменения разности широт, между которыми располагается планетарная высотная фронтальная зона.

Известно, что интенсивность планетарной высотной фронтальной зоны определяется градиентом температур экватор – полюс. Чем больше градиент, тем активнее протекают процессы в области её локализации. Зимой, когда контраст температур экватор–полюс гораздо больше, чем летом, циркуляционные процессы протекают намного активнее. Кроме того, зимой ПВФЗ смещается к югу, летом поднимается к северу, тогда вполне логично предположить, что южное смещение ПВФЗ должно приводить к усилению её активности, при этом область её локализации должна сужаться, а северное, наоборот, – к ослаблению активности ОЦА и расширению зоны локализации ПВФЗ.

Для подтверждения или опровержения такого предположения построены графики изменения среднегодовой разницы широт локализации планетарной высотной фронтальной зоны за период с 1949 по 2010 г. [5]. Попутно заметим, что на всех этих графиках для большей наглядности добавлена кривая линейной фильтрации, а для того, чтобы погасить высокочастотные колебания, к исходному ряду применена процедура скользящего осреднения.

Среднегодовые разности широт расположения ПВФЗ приведены на рис. 1, а. Видна непериодичность изменений, однако бросается в глаза увеличение разности широт при переходе от периода стабилизации к началу второй волны глобального потепления, после чего направленность изменений исчезает. Гораздо чётче это проявляется на рис. 1, б, где видно, что в более холодный период зона локализации ПВФЗ уже, а это указывает на обострение градиентов в области ПВФЗ, а следовательно, на увеличение её активности. В последующий более тёплый период разность широт больше, а значит, активность ПВФЗ снижается. Всё это нагляднее видно на рис. 2, где представлены рассчитанные среднегодовые значения средней скорости геострофического ветра, проведены статистические процедуры линейной фильтрации и выделены низкочастотные колебания методом скользящего осреднения.

Таким образом, имеем, что при переходе от более холодного к более тёплому периоду (от стабилизации ко второй волне глобального потепления) происходит расширение площади ПВФЗ, продвижение самой ПВФЗ к югу и снижение её активности. Выявленная особенность динамики

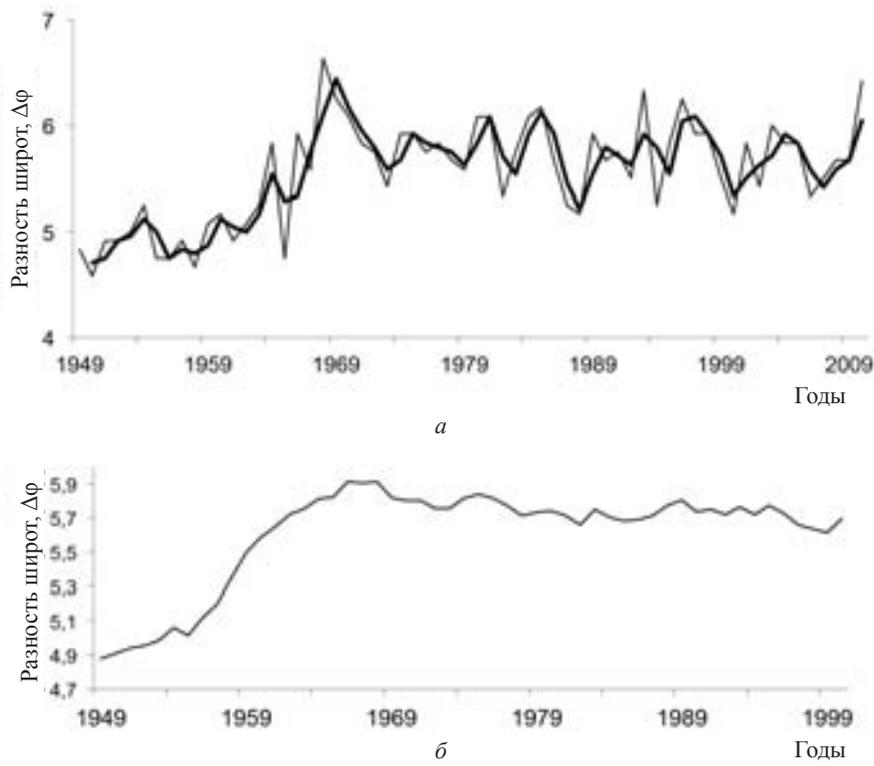


Рис. 1. Изменение разности широт локализации ПВФЗ на полушарии: *a* – линейная фильтрация; *б* – скользящее осреднение

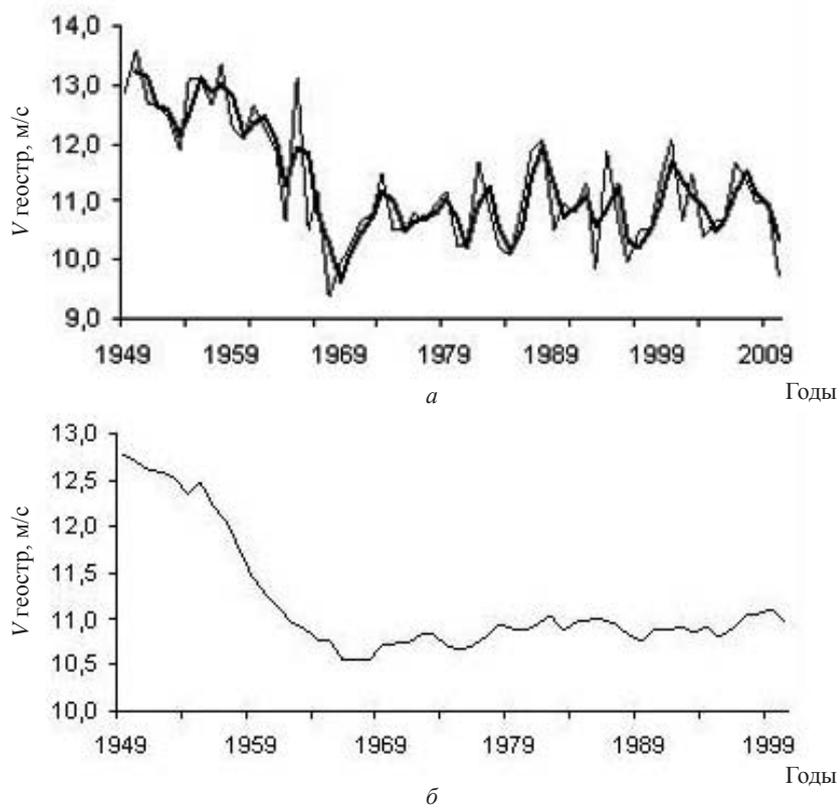


Рис. 2. Изменение средней по полушарию скорости геострофического ветра: *a* – линейная фильтрация; *б* – скользящее осреднение



ПВФЗ косвенно отражает общеизвестный факт теории климата о том, что при переходе от холодных периодов к более тёплым снижается активность ОЦА [12].

Сравнивая особенности динамики планетарной высотной фронтальной зоны в естественные климатические периоды с её сезонной динамикой, можно обнаружить сходство изменений, проявляющееся в том, что при переходе от холодных периодов к тёплым (от зимы к лету и от стабилизации к потеплению) происходит снижение активности общей циркуляции атмосферы. Но следует указать и на существенное различие, заключающееся в том, что при климатическом переходе ЗКС от более холодного к более теплому периоду площадь ПВФЗ растёт, в то время как при сезонных климатических изменениях от холодного периода к тёплому (от зимы к лету) её площадь сокращается.

Таким образом, климатически значимым следствием может быть то, что при переходе климатической системы из одного качественного состояния в другое происходят изменения не только глобальной температуры, но и ветрового режима, а роль глобальных объектов циркуляции в формировании климатической изменчивости заключается в изменениях такой климатической характеристики, как планетарный ветровой режим.

По данным [13], на территории России произошло уменьшение скорости ветра, причину которого связывают с изменением режима общей циркуляции атмосферы. Однако выяснение причин ослабления скоростей далеко не однозначно. Так, в исследованиях Бардина [14], Мещерской с соавторами [15] показано, что в последнее время (два – три десятилетия) наблюдается увеличение числа дней с циклонической циркуляцией, следствием чего является усиление скоростей ветра в связи с частым прохождением атмосферных фронтов. Однако эти же авторы делают вывод о противоречии фактов увеличения повторяемости циклоничности и уменьшения скоростей ветра. Уменьшение скорости ветра на территории России иногда объясняют снижением повторяемости формы *W*-циркуляции [16]. Тем не менее с 70-х гг. отмечается рост повторяемости зональных процессов, что также не позволяет объяснить снижение скорости ветра этим фактором. Вполне возможно, что причиной ослабления ветра является изменение качественного состояния глобального объекта циркуляции – планетарной высотной фронтальной зоны. Как показано выше, её динамика напрямую связана с интенсивностью общей циркуляции атмосферы.

## Библиографический список

1. Полянская Е. А., Морозова С. В. Характеристика барического поля на АТ-500 в первом ЕСР в 1971–1989 гг. // География в вузах России. СПб., 1994. С. 86–88.
2. Morozova S. V. Circulation of the atmosphere as a factor of regional climate variability [Электронный ресурс] // Global and regional climate changes : International Conference, 16–19 november 2010. Kyiv, 2010. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM)
3. Морозова С. В. Циркуляция атмосферы как фактор изменчивости регионального климата // Глобальные и региональные изменения климата. Киев, 2011. С. 96–10.
4. Морозова С. В. Роль циркуляции в формировании изменчивости глобального и регионального климата // Тез. докл. Междунар. науч. конф. по региональным проблемам гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды. Казань, 2012. С. 172–173.
5. Мониторинг общей циркуляции атмосферы. Северное полушарие : справочная монография / А. И. Неушкин, Н. С. Сидоренков, А. Т. Санина, Т. Б. Иванова, Т. В. Бережная, Н. В. Панкратенко, М. Е. Макарова. Обнинск, 2013. 200 с.
6. Малинин В. Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. СПб., 2007. 407 с.
7. Сикан А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. СПб., 2007. 280 с.
8. Бudyko М. И. Изменение климата. Л., 1974. 280 с.
9. Бudyko М. И. Климат в прошлом и будущем. Л., 1980. 351 с.
10. Монин А. С., Шишков Ю. А. История климата. Л., 1979. 407 с.
11. Ясаманов Н. А. Древние климаты Земли. Л., 1985. 295 с.
12. Изменения климата / под ред. Ж. Гриббина. Л., 1980. 360 с.
13. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации : в 2 т. Т. I. Изменения климата. М., 2008. 228 с.
14. Бардин М. Ю. Изменчивость характеристик циклоничности в средней тропосфере умеренных широт Северного полушария // Метеорология и гидрология. 1995. № 11. С. 24–37.
15. Мещерская А. В., Ерёмин В. В., Баранова А. А., Майстрова В. В. Изменение скорости ветра на севере России во второй половине XX века по приземным и аэрологическим данным // Метеорология и гидрология. 2006. № 9. С. 46–58.
16. Белокрылова Т. А. Об изменении скоростей ветра на территории СССР // Тр. / ВНИМИ-МЦД. 1989. Вып. 150. С. 38–47.



УДК 911.375(470.44)

## ЭТНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УРБАНИЗАЦИИ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

**С. В. Уставщикова**Саратовский государственный университет  
E-mail: sveus1@yandex.ru

Саратовская область является одной из высокоурбанизированных регионов России. Несмотря на значительную долю средних и малых городов (83,3%), в них и поселках городского типа проживают только 34% городского населения области. Из-за особенностей этнического состава населения и внешней для области миграции, демографического поведения разных народов этнический состав населения области, и в частности городов, меняется. Современной городской особенностью является рост полиэтничности за счет повышения урбанизированности и притока в города (в результате миграции) титульных народов северокавказских республик, закавказских и среднеазиатских государств.

**Ключевые слова:** городское население, урбанизированность отдельных народов, этническая структура городского населения.

### Ethnic Aspects of Urbanisation in Saratov Region

**S. V. Ustavshchikova**

Saratov region is one of the most highly urbanized Russian regions. Despite a significant percent of medium and small cities (83.3%), only 34% of the regional urban population live their. Due to the nature of the ethnic composition of the population, external migration, as well as to demographic behavior of different peoples, ethnic composition of the population of the region, and cities in particular, is changing. The modern urban trend is growth of multi-ethnicity as a result of increasing urbanization, and the inflow (due to migration) of titular peoples of the North Caucasus republics, the Caucasus and Central Asian countries into the city.

**Key words:** urban population, urbanization of individual nations, ethnic structure of the urban population.

Россия является многонациональным государством. На её территории проживает более 180 народов. Все они расселены как в городской, так и в сельской местности. Традиционно урбанизированность (доля народа, живущего в городских населенных пунктах) народов различна, кроме того, она меняется по регионам и во времени. В большинстве регионов России городская местность более полиэтнична, чем сельская. Изучение этнических аспектов урбанизации в Саратовской области – задача нашего исследования.

Важной особенностью современного этапа урбанизации области является усложнение этни-

ческой структуры населения городов. Рост полиэтничности городского населения обеспечивается преимущественно за счет расселения титульных народов северокавказских республик, закавказских и среднеазиатских государств.

Особенности этнических процессов и урбанизации в Саратовской области:

– Саратовская область полиэтнична, и в настоящее время число этносов, проживающих в регионе, растет. На этот процесс влияют ряд факторов. Обозначим некоторые из них:

– исторические, в ходе заселения региона с XVI века;

– значительная площадь территории, протяженность с запада на восток (575 км) и с севера на юг (от 125 до 333 км), что обусловило наибольшее число соседей – 8 (входит в четверку субъектов РФ по этому показателю);

– положение области на транспортном пути из Центральной Азии в Россию, граница с Казахстаном;

– привлекательность губернии, что обусловлено относительной социально-политической стабильностью;

– складывающаяся демографическая ситуация (отрицательный естественный прирост, постарение населения), которая объективно требует дополнительного привлечения трудовых ресурсов для обеспечения экономики региона.

– высокий уровень урбанизированности – 74,5% населения региона в 2010 г. проживало в городской местности (при 73,7% в целом по России). Доля городского населения росла от переписи к переписи (табл. 1).

Население области проживает в 45 городских населенных пунктах (в том числе в 18 городах и 27 поселках городского типа) и в 1683 – сельских. В городах области проживает около 90% городского населения, их них 45% проживает в Саратове. Остальные горожане живут в поселках городского типа (рассчитано по [1]). Удельный вес населения, проживающего в городах, особенно больших, постоянно растет;

Таблица 1

Динамика доли городского населения Саратовской области по переписям населения [1–6]

Год	Городское население, %						
1987	13,2	1939	34,7	1970	64,9	1989	74,1
1926	14,9	1959	53,5	1979	70,8	2002	73,3



– высокие темпы прироста численности городского населения.

Эта черта урбанизации была характерна для Саратовской области вплоть до 90-х гг., затем темп прироста городского населения замедлился, а к 2002 г. стал отрицательным. Повлияли на это, в частности, административные преобразования городских поселений в сельские (6 поселений за 1989 – 2010 гг.). За последние межпереписные периоды (1989 – 2002 – 2010 гг.) численность городского населения региона сокращалась. Росла только численность населения г. Энгельса. Численность населения городов Пугачева и Новоузенска практически не изменилась;

– в сети городских поселений доминируют малые и средние города – они составляют 83,3% городов области. Такая структура городской сети определяет особенности распределения городского населения. На долю областного центра приходится 44,6% городского населения, на долю больших городов – еще 21,4%, в малых городах (до 50 тыс. чел.) проживает 15,7% городских жителей, в средних – 7,9%. В поселках городского типа проживает 10,4% городского населения (рассчитано по [7]).

Саратовская область характеризуется устойчивой тенденцией нарастания полиэтничности населения, обусловленной разным характером воспроизводства у народов, населяющих регион, а также миграционными процессами, в которых снижается доля русских и возрастает доля кавказских и среднеазиатских этносов.

В области проживает более 140 этносов. Основной национальностью в области являются русские, их доля в населении возросла в результате процессов ассимиляции (с 85,6% в 1989 г. до 87,6% в 2010 г.) [8]. Абсолютная же численность русских сократилась (2298,9 тыс. чел. в 1989 г. до 2151,2 тыс. чел. в 2010 г.) в результате естественной убыли, миграционного оттока в другие регионы России и в дальнее зарубежье. Еще 25 народов из проживающих в области составляет каждый по 0,1% и более в населении области из указавших свою национальность. Все другие народы, а их более 100, малочисленны и составляют в населении области всего 0,5% (рассчитано по [8]).

К концу XIX в. сеть городских поселений региона имела непродолжительную историю формирования. По данным Первой Всеобщей переписи населения Российской империи 1897 г., статус городов в современных границах области имели Саратов (с населением 137,1 тыс. чел.), Вольск (27,0 тыс.), Аткарск (10,8 тыс.), Петровск (13,3 тыс.), Балашов (10,3 тыс.), Пугачев (12,5 тыс.), Хвалынский (15,1 тыс.), Новоузенск (15 тыс. чел.) [2]. Во всех городах преобладали русские. В Саратове 88,8% составляли русские, 6,1 – немцы, 1,2 – татары, евреи – 0,9, украинцы – 0,8 (рассчитано по [3]). В начале XX в. в число городов вошли Балаково (статус города получил в 1913 г.), Энгельс (1914 г.), Красноармейск (1918 г.), Маркс (1918 г.), Ртищево (1920 г.) По переписи на-

селения 1926 г. самыми значительными по численности в Саратове были русские – 87,5% населения, немцы составляли 4,5, евреи – 3,1, украинцы – 1,5, татары – 1,4. В других городах русские составляли 94,7% (рассчитано по [4]). В 1939 г. доля русских в городском населении области составила 90,5%, далее шли украинцы – 2,6, немцы – 2,3, татары – 1,3, евреи – 1% (рассчитано по [5]).

В первые послевоенные десятилетия статус города получили Калининск (1962 г.), Аркадак и Ершов (1963 г.), Красный Кут (1966 г.). Формирование городов области закончилось. Намного позже, в 1997 г., статус города был присвоен Шиханам (ЗАТО). В послевоенный период этнический состав населения области характеризуется сокращением немецкого и кавказского населения (что было обусловлено депортацией ряда народов). Так, по переписи 1959 г., количество немцев во всей области составляло всего 3,4 тыс. чел., всех учтенных народов Кавказа – 2,5 тыс. чел., или 0,1% (рассчитано по [6]). К 1970 г. немцев в целом по области стало 4,8 тыс. чел., кавказских народов – 5,2 тыс. чел., или 0,2% (рассчитано по [7]). К 1979 г. среди горожан выросла численность казахов, кавказцев. Этому способствовали демографические и миграционные процессы в регионе. Из данных переписи 1989 г. следовало, что в городском населении области преобладали русские – 89,3%, на втором месте были украинцы – 3,6%, на третьем татары – 1,7%, на четвертом казахи – 1%. Народы Закавказья (армяне – 0,2%, азербайджанцы – 0,3%) и Северного Кавказа (0,3%) составляли суммарно 0,8%, мордва – 0,7, белорусы – 0,6, чувашаи – 0,4 и немцы – 0,2%.

Степень вовлеченности этносов в урбанизационные процессы различна. Русских можно назвать городскими жителями – 77,2% всех русских области – это горожане (2010 г.). Евреи по преимуществу живут в городах, «урбанизированность» данного народа составляет 83% (81% всех евреев области сосредоточены в Саратове, 2010 г.). Из других народов преимущественно городскими (доля горожан около 70%) можно назвать грузин, марийцев, цыган, армян, узбеков, таджиков. Среди народов области можно выделить этносы, у которых доля горожан за межпереписной период (2002–2010 гг.) значительно выросла: у аварцев с 50 до 54,8%, табасаран с 47,8 до 56,7%, киргизов с 21,7 до 69,3%, лезгин с 38,5 до 43,8%, казахов с 21,3 до 26,9%. Самыми «сельскими» народами по расселению в Саратовской области остаются курды, казахи, чеченцы, езиды, турки (горожан среди них менее 40%) (рассчитано автором по [8]).

После распада СССР, к переписи 2002 г. доля русских в населении городов начала расти (90,3%) за счет смены национальной идентичности в кризисные годы у украинцев, белорусов, эмиграции евреев, немцев. В условиях низкого уровня естественного прироста миграция оказывала все большее влияние на формирование населения городов. По характеру расселения на территории области этносы заметно различаются (табл. 2).



Таблица 2

Динамика урбанизированности народов области (численность каждого народа принимается за 100%) (рассчитано автором по [9])

Народы*	Доля городского населения данного народа в 1989 г., %	Доля городского населения данного народа в 2010 г., %	Расселение народов по городским поселениям области (доля от каждого народа, %)**
Русские	77,3	77,2	Саратов (44,8), Балаково (11,0), Энгельс (10,1), Балашов (4,5), Вольск (3,6), Ртищево (2,3)
Казахи	26,7	28,8	Саратов (36,0), Новоузенск (11,6), Энгельс (9,1), р. п. Советского района (5,5), р. п. Озинки (5,1), р. п. Дергачи (5,0)
Украинцы	70,5	68,5	Саратов (36,4), Энгельс (14,7), Балаково (11,4), Балашов (3,6), р. п. Самойловка (2,7), Вольск (2,6)
Татары	67,2	67,2	Саратов (41,6), Энгельс (14,4), Балаково (8,7), Пугачев (7,5), Вольск (3,6), р. п. Дергачи (2,5)
Армяне	73,4	71,4	Саратов (52,2), Энгельс (6,4), Ершов (4,9), Балаково (4,8), Вольск (4,6), Балашов (2,1)
Мордва	56,6	50,4	Саратов (41,1), Энгельс (14,8), Балаково (13,1), Петровск (7,9), Вольск (3,4), Маркс (1,7)
Азербайджанцы	57,5	66,2	Саратов (58,4), Энгельс (10,9), Балаково (6,2), Вольск (3,6), Ершов (2,2), Пугачев (2,0)
Чуваши	41,7	43,4	Саратов (32,1), Балаково (17,1), Вольск (7,9), Энгельс (6,9), Пугачев (1,7), Балашов (1,4)
Белорусы	68,9	66,7	Саратов (37,9), Энгельс (14,0), Балаково (14,0), Балашов (4,2), Вольск (3,2), Маркс (2,6)
Немцы	35,9	44,0	Саратов (29,0), Энгельс (15,9), Балаково (11,3), Маркс (8,8), Красноармейск (4,9), Красный Кут (3,5)
Чеченцы	20,3	31,6	Саратов (40,8), Энгельс (5,5), р. п. Екатериновка (6,0), Новоузенск (5,1), Маркс (3,6), Вольск (3,5)
Лезгины	32,6	44,2	Саратов (56,1), Балаково (8,0), Энгельс (7,2), Красноармейск (4,7), р. п. Федоровского района (2,3), Ершов (2,0)
Корейцы	80,0	40,5	Саратов (34,8), Энгельс (15,2), Новоузенск (10,6), Красный Кут (10,0), Маркс (9,0), р. п. Ровное (4,2)
Башкиры	39,0	47,0	Саратов (24,8), Балаково (21,6), Пугачев (11,8), Энгельс (8,1), Вольск (6,1), Маркс (2,7)
Цыгане	72,0	75,7	Саратов (6,3), Аткарск (21,5), Пугачев (17,5), Балаково (8,50), Балашов (8,5), Энгельс (7,8)
Молдаване	46,7	53,3	Саратов (34,8), Энгельс (13,1), Балаково (8,6), Аткарск (3,4), Пугачев (3,4), Маркс (2,9)
Марийцы	32,1	37,9	Саратов (26,4), Балаково (26,8), Энгельс (8,7), Вольск (5,2), Пугачев (3,4), Балашов (2,2)
Узбеки	88,9	68,9	Саратов (54,4), Энгельс (9,8), Балаково (5,4), Вольск (5,1), Балашов (2,8), Пугачев (2,8)
Евреи	97,5	95,4	Саратов (83,7), Энгельс (5,4), Балаково (2,5), Красноармейск (1,7), Маркс (1,2), Вольск (0,5)
Грузины	89,5	83,3	Саратов (62,5), Энгельс (11,0), Балашов (6,0), Балаково (3,5), Пугачев (2,6), Маркс (2,2)
Таджики	75,0	68,7	Саратов (49,2), Энгельс (8,7), Балаково (6,0), Балашов (6,0), Пугачев (6,0), Вольск (5,1)
Аварцы	41,2	53,3	Саратов (68,2), Энгельс (9,6), Вольск (4,1), Балаково (3,2), р. п. Озинки (1,7), Красный Кут (1,6)
Удмурты	54,5	53,8	Саратов (28,3), Балаково (22,9), Энгельс (11,4), Вольск (4,4), Балашов (3,5), Маркс (2,7)
Табасаране	22,2	58,3	Саратов (77,3), Энгельс (8,0), Балаково (3,1), Вольск (3,1), Пугачев (0,6), Балашов (0,3)
Курды	-	8,5	Саратов (41,7), Ртищево (21,9), Красный Кут (15,7), р. п. Озинки (10,3), Энгельс (4,1), Балаково (2,1)
Езиды	-	34,3	Саратов (29,3), Ртищево (16,4), Энгельс (14,9), Красный Кут (9,2), Вольск (8,4), Калининск (4,1)

\*Рассматриваются народы, численность которых составляет более 0,1% в населении области.

\*\*Выбраны 6 городских поселений с наибольшей долей каждого народа, сумма обычно составляет более 80%.



Среди народов области можно выделить тех, у которых более 50 % всех горожан проживают в Саратове: евреи, армяне, азербайджанцы, грузины, лезгины, аварцы, табасаране, узбеки. Чаще всего это связано с их традиционной занятостью, миграцией из городской местности (народы Закавказья). Преимущественно в малых городах (до 50 тыс. чел.) и в городских поселках области проживают казахи, немцы, чеченцы, корейцы, курды татары, мордва, немцы, чеченцы, корейцы, цыгане, курды, езиды.

По переписи 2010 г. среди горожан русские составили 91,2%, на втором месте татары – 1,9, на третьем народы Закавказья (армяне – 0,9, азербайджанцы – 0,5) и Северного Кавказа (0,5%) – суммарно 1,9%. Украинцы составили 1,5% городского населения области, казахи – 1,1%. Доля чувашей, мордвы, белорусов снизилась до 0,3% (каждого народа), немцев – до 0,2% (рассчитано автором по [9, с. 17]). Увеличение доли русских обусловлено в первую очередь продолжающимися процессами ассимиляции народов области. Численность немцев и евреев сократилась в результате эмиграции, частично за счет ассимиляции. В городских поселениях области растет численность казахов, таджиков, узбеков, корейцев, цыган.

#### Библиографический список

1. Окончательные итоги ВПН-2010 по Саратовской области. Первый блок. URL: <http://srtv.gks.ru/wps/wcm/>

УДК 502.131.1:528.946

## ОЦЕНКА ИНДЕКСА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ФЕДОРОВСКОГО МУНИЦИПАЛЬНОГО РАЙОНА САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Д. П. Хворостухин

Саратовский государственный университет  
E-mail: khvorostukhin89@mail.ru

В статье рассматривается расчет индекса устойчивого развития Федоровского муниципального района на основе схемы территориального планирования и геоинформационного моделирования. Дается численное значение экономического, социального, экологического и интегрального индексов по муниципальным образованиям и Федоровскому району в целом.

**Ключевые слова:** устойчивое развитие, геоинформационное моделирование, индексы и индикаторы, муниципальный район.

**Fedorovskiy Municipal District of Saratov Region Sustainable Development Index Assessment using GIS-technologies**

D. P. Khvorostukhin

In this article Fedorovskiy municipal district sustainable development index assessment based on territorial planning scheme and geoinfor-

connect/rosstat\_ts/srtv/ru/census\_and\_researching/census/national\_census\_2010/score\_2010/score\_2010\_default (дата обращения: 16.10.2013).

2. Первая Всеобщая перепись населения Российской империи 1897 года. Наличное население в губерниях, уездах, городах Российской Империи (без Финляндии). URL: [http://demoscope.ru/weekly/ssp/rus\\_lan\\_97.php?reg=38](http://demoscope.ru/weekly/ssp/rus_lan_97.php?reg=38) (дата обращения: 12.10.2013).

3. Первая Всеобщая перепись населения Российской Империи 1897 г. Распределение населения по родному языку и уездам 50 губерний Европейской России. URL: [http://demoscope.ru/weekly/ssp/rus\\_lan\\_97\\_uezd.php?reg=1322](http://demoscope.ru/weekly/ssp/rus_lan_97_uezd.php?reg=1322) (дата обращения: 12.10.2013).

4. Всесоюзная перепись населения 1926 года : в 56 т. М., 1928–1929. Т. 9. С. 34–51 ; Т. 10. С. 9–13 ; Т. 11. С. 8–17 ; Т. 14. С. 6–16 ; Т. 15. С. 8–13 ; Т. 16. С. 8–12 ; Т. 17. С. 8–25.

5. Всесоюзная перепись населения 1939 года // РГАЭ. Ф. 1562. Оп. 336. Д. 967–969.

6. Всесоюзная перепись населения 1959 года // РГАЭ РФ (быв. ЦГАНХ СССР). Ф. 1562. Оп. 336. Ед. хр. 1566а–1566д.

7. Окончательные итоги ВПН-2010 по Саратовской области. Второй блок. URL: [http://srtv.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_ts/srtv/ru/census\\_and\\_researching/census/national\\_census\\_2010/score\\_2010/score\\_2010\\_default](http://srtv.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/srtv/ru/census_and_researching/census/national_census_2010/score_2010/score_2010_default) (дата обращения: 16.10.2013).

8. Национальный состав и владение языками, гражданство. Итоги всероссийской переписи населения 2010 года. Саратов, 2012. 210 с.

7. Всесоюзная перепись населения 1970 года // РГАЭ РФ. Ф. 1562. Оп. 336. Ед. хр. 3998–4185.



mation modeling is considered. Gives numerical values of economical, social, ecological and integral indexes by municipalities and Fedorovskiy district on the whole.

**Key words:** sustainable development, geoinformation modeling, indexes and indicators, municipal district.

Научное сообщество уже достаточно давно пришло к мысли, что существующий уклад природопользования является нерациональным и рано или поздно приведет к глобальной катастрофе. В связи с этим в конце XX в. была предложена концепция устойчивого развития, предполагающая обеспечение экономического роста и улучшение качества жизни людей без нанесения вреда окружающей среде [1].

Основным способом оценки степени приближенности территории к устойчивому развитию на



сегодняшний день являются системы индексов и индикаторов, что было подтверждено на конференциях ООН в 1992, 2002 и 2012 годах. Согласно Основным положениям стратегии устойчивого развития Российской Федерации «индикаторами устойчивого развития называют критерии и показатели, с помощью которых оценивается уровень развития того или иного географического региона (города, страны, региона, континента, всего мирового сообщества), прогнозируется его будущее состояние (экономическое, политическое, экологическое, демографическое и т. д.), делаются выводы об устойчивости этого состояния» [2, с. 16]. Индикаторы служат базой для планирования деятельности в направлении устойчивого развития, разработки политики в этой области. Индекс – это агрегированный или взвешенный индикатор, основанный на нескольких других индикаторах или показателях [3].

В настоящее время разработано большое количество систем индексов и индикаторов для территорий различного уровня, как национального, так и регионального. На глобальном уровне выделяются:

1. Система индикаторов Комиссии ООН по устойчивому развитию.
2. Экологические индикаторы ОЭСР.
3. Система индикаторов Мирового банка.
4. Индекс развития человеческого потенциала
5. Система показателей целей развития тысячелетия и т. д.

В Российской Федерации наиболее известны региональные индексы устойчивого развития Томской и Кемеровской областей [4, 5]. Существуют также работы по созданию систем индикаторов устойчивого развития по муниципальным образованиям (МО) [6]. Но, несмотря на обилие исследований и множество организаций, занимающихся расчетом различных индексов, до сих пор не выработана общепринятая структура индексов, а также не определен минимальный набор показателей, который должен быть обязательно учтен.

Во всем этом обилии систем индексов на различных уровнях в нашей стране зачастую обходят стороной такую важную административную единицу, как муниципальный район, в то время как данная ячейка, на наш взгляд, обладает рядом преимуществ при оценке устойчивого развития территории, а именно:

- наличие показателей государственной статистики;
- возможность учета локальных экологических проблем;
- возможность выявления пространственных закономерностей на микроуровне;
- возможность анализа как природной, так и экономической и социальной составляющей на достаточно крупном масштабе [7].

В связи с этим задача по разработке и определению индексов устойчивого развития муниципальных районов является достаточно важной

и актуальной. Согласно предложенной авторской методике, описанной в более ранних публикациях [7–10], были рассчитаны социальный, экономический, экологический и интегральный индексы для территории Федоровского района Саратовской области. В качестве источника данных выступала специализированная ГИС «Муниципальный район», разработанная сотрудниками Научно-внедренческого образовательного центра геоинформационных технологий СГУ и ГУПП «Институт «Саратовгражданпроект» Саратовской области», а также сведения из баз данных Госкомстата.

Согласно методике при расчете индексов используется набор из 39 показателей, разделенных на три группы. Приведем перечень данных показателей.

#### **I. Показатели социального развития:**

1. Демографическая нагрузка.
2. Естественное движение населения.
3. Механическое движение населения.
4. Обеспеченность услугами здравоохранения.
5. Обеспеченность образовательными учреждениями.
6. Обеспеченность учреждениями культуры.
7. Уровень безработицы.
8. Уровень газификации.
9. Обеспеченность телефонной связью и телевидением.
10. Обеспеченность спортивными сооружениями.
11. Обеспеченность пожарными бригадами.
12. Обеспеченность книгами и журналами.
13. Обеспеченность общественным транспортом.
14. Общая заболеваемость населения.
15. Объем продаж алкогольной продукции.
16. Уровень преступности.

#### **II. Показатели экономического развития:**

1. Объем инвестиций в основной капитал.
2. Объем бюджета МО (на одного жителя).
3. Профицит/дефицит бюджета.
4. Процент убыточных предприятий.
5. Среднемесячная заработная плата.
6. Численность муниципальных служащих.
7. Протяженность газопроводов, водопроводов и канализационных сетей, нуждающихся в замене.
8. Жилищные условия (число проживающих в ветхих и аварийных домах, ввод нового жилья).
9. Общая обеспеченность жильем.
10. Износ электроподстанций и ЛЭП.
11. Валовый региональный продукт.
12. Оборот розничной торговли.
13. Наличие дорог с твердым покрытием в населенных пунктах.

#### **III. Экологические показатели:**

1. Площадь экологического каркаса.
2. Площадь ООПТ.
3. Площадь территорий, подверженных опасным экзогенным процессам.





меньшее значение. Интегральный индекс является средним арифметическим между тремя частными индексами.

Подобный расчет был проведен для территории Федоровского района Саратовской области. Результаты приведены в таблице и на рис. 2.

В общем случае положительное значение индекса является признаком достаточно благополучной ситуации в муниципальном районе в разрезе концепции устойчивого развития. Отрицательный же показатель свидетельствует о несбалансированности развития или о деградации территории.

Как видно из таблицы и рис. 2, наиболее приближенным к устойчивому развитию является Мокроусское муниципальное образование, что является достаточно предсказуемым, так как в административном центре района сосредоточена основная экономическая активность на территории района, а также наблюдается лучшее социальное обслуживание по сравнению с осталь-

ными муниципальными образованиями. Об этом свидетельствует положительное значение социального и экономического индекса. Большой разброс значений всех индексов по муниципальным образованиям обуславливается разной степенью изношенности социальной и инженерной инфраструктуры, а также различиями в уровне экономического развития муниципальных образований.

В целом индекс устойчивого развития Федоровского района составил  $-0,1155$  балла, что является достаточно низким показателем. При этом экологический индекс составил  $-0,4085$ , что свидетельствует о необходимости увеличения количества и интенсивности природоохранных мероприятий на территории района.

Проведение подобных расчетов для всех муниципальных районов Саратовской области позволит осуществить сравнительную оценку между районами, при этом в случае регулярных расчетов индексов за определенные промежут-



Рис. 2. Картографическое представление интегрального индекса устойчивого развития



**Значения индикаторов устойчивого развития по муниципальным образованиям и Федоровскому району в целом**

Название МО	Индекс			
	социальный	экономический	экологический	устойчивого развития
Борисоглебское	-0,2009	-0,4622	-0,7386	-0,4672
Николаевское	0,05384	-0,1372	-0,4914	-0,1916
Калужское	0,0567	-0,2301	-0,4453	-0,2062
Ерусланское	0,1738	-0,2734	-0,4755	-0,1917
Долинское	0,0241	-0,1268	-0,3773	-0,1600
Никольское	0,0334	-0,0791	-0,3269	-0,1242
Морцевское	0,0967	0,0403	-0,2232	-0,0286
Мунинское	0,2562	0,0179	-0,5185	-0,0814
Романовское	0,2533	0,0352	-0,6585	-0,1233
Федоровское	0,3962	-0,1109	-0,5031	-0,0726
Мокроусское	0,2636	0,0474	-0,3295	-0,0061
Спартакское	0,0841	-0,1377	-0,3030	-0,1188
Первомайское	-0,102	-0,3190	-0,1913	-0,2042
Семеновское	0,0208	-0,3358	-0,4568	-0,2572
Калдинское	0,1278	-0,1264	-0,2967	-0,0984
Федоровский район в целом	0,1532	-0,0911	-0,4085	-0,1155

ки времени можно организовать мониторинг устойчивости развития муниципальных районов, что, несомненно, будет крайне полезным для руководителей как на региональном, так и на местном уровне.

**Библиографический список**

1. Доклад Конференции Организации Объединенных Наций по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 3–14 июня 1992 года) : в 3 т. Т. 1. Резолюции, принятые на Конференции. Нью-Йорк, 1993. 528 с.
2. Основные положения стратегии устойчивого развития России / под ред. М. А. Шелехова. М., 2002. 161 с.
3. Тарасова Н. П., Кручина Е. Б. Индексы и индикаторы устойчивого развития // Устойчивое развитие : природа – общество – человек : материалы междунар. конф. : в 2 т. Т. 2. М., 2006. С. 127–144.
4. Индикаторы устойчивого развития Томской области : в 3 вып. Вып. 3 / под ред. В. М. Кресса. Томск, 2007. 62 с.
5. Мекуш Г. Е. Кемеровская область. Устойчивое развитие : опыт, проблемы, перспективы. М., 2011. 62 с.
6. Меренкова И. Н. Устойчивое развитие сельских тер-

риторий : теория, методология, практика. Воронеж, 2011. 265 с.

7. Гусев В. А., Молочко А. В., Федоров А. В., Хворостухин Д. П., Чумаченко А. Н. Схемы территориального планирования как основа для разработки индексов устойчивого развития // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле, 2012. Т. 12, вып. 1. С. 16–20.
8. Макаров В. З., Хворостухин Д. П., Чумаченко А. Н. Устойчивое развитие муниципальных районов: подходы к геоинформационной оценке // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2012. Т. 12, вып. 2. С. 25–29.
9. Хворостухин Д. П. Геоинформационное моделирование при решении задач устойчивого развития муниципальных районов (на примере Саратовской области) // Перспективы геоэкологии после РИО+20 : материалы всерос. молод. науч. шк. 12–14 сентября 2012 г. / под ред. Э. П. Романовой, Н. М. Дронина. М., 2012. С. 112–117.
10. Хворостухин Д. П. Оценка устойчивости развития муниципальных районов Саратовской области путем создания системы индексов и индикаторов с использованием ГИС-технологий // Индикация состояния окружающей среды: теория, практика, образование : тр. Третьей междунар. науч.-практ. конф. мол. ученых. 17–19 апреля 2014 года : сб. ст. М., 2014. С. 71–73.



УДК 913(470.44)+002:001+577.4

## СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ МОДУЛЯ «НАУКА» В ГИС «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАРК» (на примере ГИС НП «Хвалынский»)

А. Н. Чумаченко, В. З. Макаров, В. А. Данилов

Саратовский государственный университет  
E-mail: kohavi@yandex.ru

В статье рассмотрены концепция и методика создания специализированной природоохранной ГИС на примере НП «Хвалынский», выделены основные принципы ее успешной реализации. Приводятся структуры содержания и описание основных функциональных возможностей отдельного модуля специализированной ГИС «Наука», рассчитанного на научных сотрудников. Дается описание большого количества подмодулей специализированных научных исследований: «Доступность», «Нагрузка», «Снежный покров», «Лесник» и «Интерфейс», специально созданных для решения основной задачи модуля – мониторинга и долговременного изучения структуры и механизмов функционирования геозкосистем.

**Ключевые слова:** географические информационные системы, геоинформационное картографирование, национальный парк, природоохранный мониторинг, НП «Хвалынский».

### Structure and the Module Content «Science» in GIS «National Park» (for Example, GIS NP «Khvalynsky»)

A. N. Chumachenko, V. Z. Makarov, V. A. Danilov

The article discusses the concept and methodology of creating specialized environmental GIS example, «NP Khvalynsky», and the main principles of its successful implementation. Provides the structure, content and describes the key features of individual modules specialized GIS – «Science», calculated on the academic staff. Describes and uses a large number of sub-modules of specialized research – «Availability», «load», «Snow cover», «Forester» and «interface» specifically designed to solve the main problem of the module – the long-term monitoring and study of the structure and workings of the geosystems.

**Key words:** geographic information systems, GIS mapping, national park, environmental monitoring, NP «Khvalynsky».

Как уже неоднократно отмечалось многими авторами, геоинформатика в настоящее время рассматривается как интегратор многих наук и технологий, оперирующих пространственно-координатными данными [1–3]. Таким образом, отличительной особенностью ГИС НП «Хвалынский» по сравнению с другими информационными системами является возможность не только разнообразного статистического, но и всестороннего пространственного анализа данных. В общем виде их суть заключается в сборе, обработке и выводе пространственных данных, с основным упором на их обработку, которая и определяет функциональность отдельных модулей геоинформационной системы.

Наличие отдельных функциональных модулей ГИС «Национальный парк» определяется раз-



личными задачами создания национального парка, определенными в Федеральном законе № 33, а также категориями и его Положением [4]. Так, основными задачами являются как сохранение природных комплексов, уникальных и эталонных природных участков, историко-культурных объектов, так и создание условий для регулируемого туризма и отдыха в природных условиях.

Очевидно, основным назначением ГИС национальных парков должна быть информационная поддержка процесса принятия решений в системе управления национальным парком, а также обеспечение доступа различных групп пользователей ГИС к базам данных о его территории.

Исходя из общих представлений о геоинформационных системах [5] и опыта автора по их созданию [6, 7], следует выделить три основных принципа успешной реализации ГИС-проекта национального парка:

- модульность структуры;
- комплексность баз данных;
- универсальность функций.

*Принцип модульности структуры* ГИС обусловлен разносторонней деятельностью, проводимой национальным парком, и предполагает необходимость создания по крайней мере трех различных по функциональным возможностям и интерфейсу модулей ГИС. Условно первый модуль предназначен для посетителей парка с целью обеспечения туристско-рекреационной деятельности и сопровождения процесса образования и воспитания в духе бережного отношения к природе; второй модуль – для сотрудников парка с целью оказания своевременной помощи в процессе принятия управленческих решений; третий модуль – для научных сотрудников с целью обобщения, хранения, систематизации, анализа и представления данных специализированных научных исследований. Принцип модульности предполагает использование единой базы данных и картографической основы, с возможностью перекомпонования каждого модуля в рамках меняющихся задач национального парка.

*Принцип комплексности баз данных* заключается в обеспечении пользователя информацией, по крайней мере, о природно-ландшафтных особенностях территории парка, инженерно-технических и архитектурно-планировочных характеристиках населенных пунктов, демографических и социально-экологических показателях населения. Без выполнения данного принципа невозможна



полнота эколого-географического изучения и картографирования объектов, процессов и явлений на территории национального парка, которая обеспечивается единым методологическим принципом – отображением системной зависимости состояния и изменения природных и полуприродных геоэкосистем территории парка и буферной зоны, их пространственно-временных особенностей, характера и интенсивности рекреационной нагрузки.

Принцип универсальности функций ГИС опирается, прежде всего, на основные характеристики используемого геоинформационного программного продукта и на заложенную в нем возможность

повышения функциональной привлекательности за счет создания собственных прикладных программ и приложений.

Поскольку специализированные природно-охранные ГИС ориентированы на разные категории пользователей, в рассматриваемой ГИС НП «Хвалынский» модули «настроены» на посетителей парка, сотрудников парка (управленцев-администраторов) и научных работников. Накопленный массив информации и конкретные запросы дирекции парка позволили сформулировать концепцию и принципы создания ГИС, структуру и содержание баз данных разных её модулей (рисунок).



Функциональная схема ГИС «НП «Хвалынский»

Непосредственно сбор данных ГИС НП «Хвалынский» не осуществляет, основным их источником являются смежные технологии, такие как дистанционное зондирование, полевые научные исследования и т. д. Остановимся на функциональных возможностях модуля «Наука» ГИС «НП Хвалынский», поскольку структура, специфика и содержание остальных модулей достаточно подробно рассмотрены нами ранее [8, 9].

Модуль «Наука» рассчитан на научных сотрудников и представляет собой полнофункциональную геоинформационную систему, направленную на решение фундаментальных проблем природосбережения, создание научной основы для разработки программ управления природными системами национального парка и прилегающих территорий. ГИС выполняет роль банка данных, аккумулирующего результаты различных специализированных научных исследований с последующей их систематизацией, анализом и

поиском зависимостей между отдельными природными компонентами. Данный модуль может быть установлен на рабочих местах научных сотрудников, интегрированных в общую локальную сеть.

Основные задачи модуля – мониторинг и долговременное изучение структуры и механизмов функционирования геоэкосистем.

Отличительными особенностями модуля являются: большое количество подмодулей специализированных научных исследований; применение различных традиционных методов геоинформационного моделирования и современных методов математико-картографического моделирования; создание собственных прикладных программ; широкое применение средств 3D моделирования; интеграция баз данных в другие модули и структуры.

Основные функциональные возможности модуля определяются использованной программой



оболочкой MapInfo 8.5 Professional и встроенным языком программирования MapBasic. Условно все функции модуля можно разделить на две категории: простые – базовые и сложные – составные. Первые выполняются чаще всего в одно действие и непосредственно реализованы в программной оболочке ГИС, вторые представляют собой отдельные прикладные программы, использующие набор простых функций и реализованные в ГИС с помощью встроенных в ее оболочку языков программирования или даже отдельных пакетов программирования MapX [10].

Сложные – составные – функции применяются реже, но именно они создают неповторимую индивидуальность и уникальность какой-либо геоинформационной системы. Они представляют собой прикладные программы и направлены на выполнение заложенного в нее алгоритма, состоящего из набора простых функций. Данные прикладные программы могут как до неузнаваемости изменить интерфейс программного продукта, так и автоматизировать выполнение каких-либо действий или расчетов.

В нашем случае интерфейс пользователя представляет собой полнофункциональный вариант меню программы MapInfo, дополненный кнопками специализированных прикладных программ. Конечно, среди существующего множества готовых бесплатных прикладных программ мало подходящих для их использования в ГИС «Национальный парк». Поэтому в ГИС НП «Хвалынский» нами созданы и реализованы несколько специализированных прикладных программ, таких как «Доступность», «Нагрузка», «Снежный покров», «Лесник» и «Интерфейс», написанных на языке MapBasic. Рассмотрим подробнее их предназначение, применение и описание в модуле «Наука».

Прикладная программа «Доступность» предназначена для построения зон доступности территории национального парка от одной или нескольких точек. Значения доступности отображаются на карте и выражаются в единицах времени, необходимого для достижения данного места из заданной начальной точки (точек) по существующей дорожной сети. В случае отсутствия дорог к месту на карте строятся нормали к окружающим дорогам и рассчитывается минимальное время прибытия в данную точку из расчета скорости пешехода. Скорость перемещения по дорогам представляется индивидуально, в зависимости от их категории и вида транспортного средства.

Прикладная программа «Нагрузка» предназначена для расчета и оценки интегральной техногенной нагрузки на территорию парка объектов инфраструктуры и видов природопользования на ее территории. Значения проставляются в балльной системе и отображаются на карте, балльные значения по отдельным видам природопользования или техногенным объектам проставлены экспертно, где значение «1» соответствует ми-

нимальной или отсутствующей техногенной нагрузке, а значение «10» и более – максимальной и критической соответственно. Для построения интегральной карты техногенной нагрузки используются многие картографические слои, содержащие информацию о землях и типе их использования, а также об объектах промышленной и транспортной инфраструктуры (промышленности, фермах, МТС, дорогах, трубопроводах, линиях электропередач и т. д.).

Прикладная программа «Снежный покров» предназначена для расчета толщины снежного покрова в пределах территории парка. Значения рассчитываются в сантиметрах и отображаются на карте. Исходными данными для расчета служат результаты натуральной снегомерной съемки по модельным участкам в пределах определенных полигон-трансектах. При математических расчетах применяется условие, что осадки выпадают над территорией парка изначально равномерно. Полученные наблюдения интерпретируются по различным основаниям, где на их основе строится предварительная модель толщины снежного покрова. Итоговая карта толщины снежного покрова представляет собой интегральную карту, полученную путем наложения предварительной модели снежного покрова на другие цифровые модели рельефа (абсолютная высота, угол наклона территории, экспозиция склона), растительности (тип, средняя высота, плотность) с автоматически проставленными коэффициентами по результатам анализа натуральных наблюдений.

Прикладная программа «Лесник» предназначена для графической визуализации на карте по отдельным кварталам и выделам различных показателей материалов лесотаксационного описания. Программа автоматически в отдельном слое выполняет тематическое картографирование выделов или кварталов согласно полученному запросу и приписанных к ним значений. Пользователь может перемещаться по полученной карте, получить статистическую справку, сохранить ее для дальнейшего использования. Отличительной особенностью программы является хранение в ГИС только картографического слоя с границами кварталов и выделов, сама база данных лесотаксационного описания в формате xls хранится вне ГИС, что позволяет ее редактировать или заменять новой традиционными способами.

Прикладная программа «Интерфейс» предназначена для видоизменения интерфейса программной, функциональных возможностей и картографического содержания каждого из модулей программной оболочки MapInfo. Основной частью программы служит база данных, выполненная в программе Microsoft Excel, где прописываются доступные картографические и атрибутивные базы данных, входящие в модуль. Администратор, редактируя данный файл, может изменить структуру баз данных, входящих в модуль. Сами функциональные возможности про-



граммы и графическое оформление интерфейса прописываются в файле *mbx*. Именно данная прикладная программа определяет структуру, специфику и функциональные особенности интерфейса отдельных модулей ГИС НП «Хвалынский» на платформе программного пакета ГИС MapInfo 8.5 Professional, интегрированного в ГИС «ООПТ Саратовской области».

В модуле «Наука» сформированы данные по ландшафтным, геохимическим, гидрогеологическим, археологическим и частично по флористическим и зоологическим исследованиям. Эти данные дополнены различной социально-экономической и статистической информацией по Хвалынскому району. На их основе на нескольких примерах рассмотрим функциональные возможности модуля и варианты его использования при анализе данных. Сначала рассмотрим варианты использования простых функций, определенных непосредственно программной оболочкой MapInfo.

Самой распространенной функцией в ГИС является отображение информации об объекте по запросу пользователя. В системе реализовано множество вариантов ее реализации, самый простой, когда пользователь просто щелкает на нужный ему объект и по нему на экране выдается вся доступная информация. Более сложные запросы реализуются уже с помощью отдельного окна или даже языка запросов SQL, где, например, с помощью первого можно выбрать и представить информацию о местообитании конкретного вида краснокнижного растения среди прочих, а второго – уточнить запрос, поставив в качестве дополнительного условия отображение только тех растений, которые находятся на заданном расстоянии от произвольных объектов. По количеству параметров SQL запросы не ограничены, при этом они могут привлекать как атрибутивные значения, так и топологические пространственные и соотносенные пространственные характеристики объектов. Поиск объекта является простым примером запроса и его отображения на карте, сложный поиск уподоблен сложному запросу и может осуществляться не только по полному, но и частичному соответствию его какому-либо критерию.

При выборе одного или нескольких объектов нам доступна не только его атрибутивная информация из баз данных, но и информация о его координатах, линейных и площадных характеристиках (зависит от типа объекта), которая вычисляется согласно их топологии. Просто выбрав группу лесных участков, мы увидим их общую площадь, дорог – общую длину, точку – ее координаты, при этом атрибутивная информация также может быть временно обобщена.

Необходимо отметить, что функция наложения объекта или слоя один на другой, получившая название топологической оверлей, является также одной из самых используемых в геоинформатике. После ее проведения создается новый объект

или слой с наследуемыми признаками исходных объектов, пропорциональный величине их пространственного перекрытия. Примером может служить вычисление площади фрагментов функциональных зон парка в пределах выделенных ландшафтов, площади участков активного развития эрозионных процессов и склонов южных экспозиций, значений абсолютных высот выхода родниковых вод и залегающих геологических пород и т. д. Другой вариант использования функции оверлей – это разрезание объектов по определенному контуру. Например, при построении карты горизонтального расчленения требовалось определить суммарную длину водотоков в пределах ячейки площадью 1 км<sup>2</sup>, где разрезать все водотоки сеткой, а далее рассчитать суммы длин линий в пределах каждой ячейки. Использовалась сеть, состоящая из шестиугольников, по причине представления более адекватных и «плавных» результатов в сравнении с классической прямоугольной. Ранее квадратная сеть использовалась по причине простоты ее ручного построения и подсчета длины линии, а в нашем случае всю черновую работу выполняет компьютер.

Используя функции индивидуального или тематического картографирования, мы получаем разносторонние возможности проведения пространственного анализа объектов на карте, сортируя их по форме, цвету структуре, текстуре, при этом зачастую просто скрывая некоторые из них, мешающие восприятию. Например, при анализе естественного распространения сосны по склонам мы «скрываем» ее искусственные насаждения. Аналогично можно среди всего древо-стоя отобразить только дубы, липы, осины, среди кустарников – бересклет и проанализировать их распространение отдельно. Данные функции применимы не только к исходным базам данных, но и к различным выборкам по запросам, которые мы рассмотрели ранее.

Стоит отметить и возможности построения цифровых моделей рельефа. Нами уже отмечалось, что на территории Хвалынского района построена GRID-модель с размером сети 20x20 м. Кратко остановимся на ее особенностях. Исходной её основой стали отметки высот и изолинии карты масштаба 1:50 000. Для построения более точной модели применялись линии отражающие структуру поверхности рельефа: обрывы, промоины, тальвеги, линии и объекты гидрографической сети, у линейных объектов (кроме обрывов) были указаны направления уклона, а у площадных объектов – урез водной поверхности. Данные структурные элементы были обновлены по космическим снимкам высокого разрешения. На основе ЦМР была построена серия морфометрических карт (экспозиции, углов наклона, ярусов рельефа), проведен анализ профилей существующих экологических троп (протяженность, крутизна) и расчет панорамных точек (видовых площадок). Кроме того, ЦМР являлась основной моделью несколь-



ких прикладных программ («Снежный покров» и др.), а также использовалось при оформлении туристической информации и буклетов. Данные задачи достаточно легко и оперативно решаются с применением ЦМР и сложны для выполнения при использовании обычных цифровых карт. В настоящий момент все более широкое распространение приобретает радиолокационный способ получения и построения ЦМР, который увеличивает скорость и облегчает процесс ее создания и обновления [11–13].

Даже простая комбинация использования функции перемещения по карте и изменения ее масштаба может быть применена при визуальном анализе, в некотором роде это копирование эффекта картографической генерализации. Простые функции программной оболочки при грамотном их использовании позволяют во многом увеличить скорость обработки, анализа и представления различных научных данных.

В научном модуле основные функциональные возможности ГИС по работе с пространственными и атрибутивными базами данных дополняются блоком моделирования. Его основу составляют как готовые, так и специально написанные прикладные программы на встроенном языке программирования MapBasic, интегрированном в ГИС пакет MapInfo. С его помощью, а также активно применяя базовые функции программной оболочки, можно реализовать различные алгоритмы и научные методики для целей математико-картографического моделирования и решения задач буферизации, кластеризации, интеграции и других операций пространственного анализа. При этом базовая картографическая основа с набором разнообразных тематических слоев и баз данных являются полноценным источником по созданию новых разнообразных аналитических и синтетических карт.

В рамках ГИС НП «Хвалынский» нами применялись готовые прикладные программы – Vertical Mapper, а также были написаны и реализованы специальные прикладные программы: «Снежный покров», «Доступность», «Нагрузка», «Лесник», «Интерфейс» и некоторые другие. С помощью первой строились разнообразные цифровые модели, проводились над ними различные операции. На их основе определялись различные морфометрические характеристики рельефа, строились профили, определялись зоны видимости/невидимости, рассчитывались параметры загрязнения почвенного покрова и аттрактивности ландшафтов, оценивались микроклиматические различия и степень опасности эрозионного протекания процессов и т. д. Вторые использовались для автоматизации отдельных производственных операций и реализации отдельных научных методик по расчету параметров толщины снежного покрова, оценке взаимодальности объектов (процессов и явлений), техногенной нагрузки, различных лесорастительных значений и пока-

зателей и т. д. Некоторые возможности применения данных прикладных программ нами были продемонстрированы в описании предыдущих модулей, подробнее остановимся на алгоритме работы программы «Снежный покров».

«Снежный покров» является универсальной прикладной программой, результаты моделирования которой могут применяться в различных сферах деятельности национального парка. Суть ее работы заключается в вычислении толщины снежного покрова всей территории парка по результатам измеренных показателей на нескольких модельных участках. Алгоритм ее работы заключается в следующем.

На 1-м этапе в специальную табличную форму заносятся результаты натуральных наблюдений по модельным участкам и полигонам-трансектам. На их основе автоматически высчитываются значения распределения толщины снежного покрова в зависимости от угла наклона территории и экспозиции склона. Полученные коэффициенты соответственно переносятся на цифровые модели углов наклона и экспозиции территории.

На 2-м этапе на основе цифровой модели рельефа создается предварительная модель распределения снежного покрова, учитывающая относительное распределение снега с высотой. На полученную модель накладываются цифровые модели с рассчитанными коэффициентами в зависимости от угла наклона, экспозиции склона, а также коэффициентами лесорастительных условий, полученных экспериментальным путем.

На 3-м этапе строится итоговая цифровая модель распределения снежного покрова, полученная путем наложения на предварительную модель моделей с различными коэффициентами. На ее основе строится картографический слой с атрибутивными значениями толщины снежного покрова.

Данная программа может применяться как непосредственно для расчета толщины снежного покрова, так и для оценки влагозапаса и расчета расхода воды в весенний период, оценки уязвимости вымерзания высаженных древесных культур, развития водной эрозии, прокладки оптимальных с точки зрения минимизации рекреационного ущерба лыжных трасс, для определения проходимости территории в зимнее время. Перечисленные области применения не являются конечными, они могут расширяться и видоизменяться в зависимости от потребностей научных исследований и пользователей. В дальнейшем можно усовершенствовать алгоритм работы программы и получать карту толщины снежного покрова только на основе данных автоматических метеостанций или метеопостов с учетом скорости и направления ветра, а также других оказывающих влияние характеристик. Можно будет строить карту выпадения снега за сутки, изменения высоты снежного покрова в зависимости от колебания суточной температуры и т. д.



Не исключена возможность совершенствования и других прикладных программ, например, интегрировав в программы «Доступность» учет показателей крутизны склонов, проходимости дорог от сезона года и погодных условий, «Нагрузка» – точки возможных разовых выбросов и их концентрации, направление ветра, влияние крупных промышленных предприятий из-за района, «Лесник» – сравнение данных за разное время, автоматизировать расчет лесорастительных показателей во времени. Все данные изменения позволят увеличить точность моделирования объектов и процессов реального мира, расширить их область применения.

Как уже отмечалось, каждая из созданных прикладных программ универсальна, заложенный в них алгоритм можно применять во многих разнообразных сферах, главное, чтобы он был подкреплен специализированными базами данных, основанных на результатах научных исследований. Например, для программы «Доступность» категории дорог в слое дорожной сети можно заменить порядками тальвегов в слое водосборных бассейнов и тогда рассчитывать не удаленность

от отдельного объекта (объектов), а скорость попадания нефтепродуктов в речную сеть от места аварии на трубопроводе или автотрассе и т. д.

Моделирование и его производные – цифровые модели – играют одну из важнейших ролей в получении новых качественных и количественных характеристик объектов и явлений. Применение моделирования в ГИС-пакете позволило во многом автоматизировать и ускорить процесс выполнения многих рутинных операций, качественно повысить результаты многих видов анализа, обеспечить исследователя дополнительной аналитической и синтетической информацией, а также лучшее понимание механизма взаимодействия отдельных компонентов геосистем.

Сравнивая функции модулей, мы видим, что функциональная составляющая модуля «Наука» – самая насыщенная среди рассмотренных нами ранее (таблица). Обладая самыми обширными базами данных, имея возможности реализации категорийного доступа к ним, модуль требует от пользователя высококачественных знаний геоинформационных систем для полного раскрытия его функциональных возможностей.

**Сравнение функциональных возможностей модулей ГИС НП «Хвалынский»**

Функция ГИС	Наименование модуля		
	«Электронный гид»	«Сотрудник»	«Наука»
Сбор данных	Не возможен	Возможен, в т. ч. с помощью ГСП	Возможен без ограничений
Хранение данных	Возможно только для первоначально заложенных	Возможно, в т. ч. с расширением БД	Возможно без ограничений
Обработка данных	Не возможна	Возможна, только определенных БД	Возможна без ограничений
Вывод данных	Возможен только на экран или печать	Возможен без ограничений	Возможен без ограничений

Как говорилось ранее, отсутствие высококвалифицированного персонала в национальных парках отмечается до сих пор. Это связано как с низкой оплатой труда в данных структурах, так и с устоявшейся практикой приема на должности научных сотрудников людей с биологическим или лесохозяйственным профилем, зачастую плохо представляющих возможности современных геоинформационных технологий и не имеющим опыта работы с ГИС. Выход видится в привлечении специалистов-геоинформатиков к проектированию таких систем и повышении квалификации самих сотрудников.

Подводя итоги, отметим, что разработанная геоинформационная система национального парка по многим функциональным характеристикам не уступает ныне действующим в стране и за рубежом. В систему заложены возможности ее функционального расширения и дополнения базами данных специализированных научных исследований и мониторинговых наблюдений. А принцип построения на основе открытой карты,

выполненной в географической системе координат, позволит в будущем интегрировать ее с разнообразными базами данных в ГИС «Особо охраняемые природные территории России» или мира.

Как известно, задача географии – познать типичное в индивидуальном и выявить индивидуальное в типичном. Национальный парк «Хвалынский» является типичным представителем лесостепного Приволжья, но в то же время уникальным уголком Европейской России. Как видится, ГИС НП «Хвалынский» с его модулями может стать ядром научной, рекреационно-туристской и образовательно-воспитательной работы не только в пределах парка, но и в рамках единого природно-историко-культурного и рекреационно-туристского комплекса «Хвалынский национальный парк – малый исторический город Хвалынский».

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта (№ 13-05-12078).*



### Библиографический список

1. Берлянт А. М. Теория геоизображений. М., 2006. 262 с.
2. Лурье И. К. Основы геоинформационного картографирования : учеб. пособие. М., 2000. 143 с.
3. Тихунов В. С. Моделирование в картографии. М., 1997. 405 с.
4. Об особо охраняемых природных территориях : федер. закон от 14 марта 1995 № 233-ФЗ. М., 1995. 16 с.
5. К созданию географической информационной системы «Рекреация и туризм в Саратовской области» / В. З. Макаров [и др.] // Проблемы и перспективы сохранения, использования и развития туристских ресурсов Саратовской области : сб. материалов науч.-практ. конф. Саратов, 1999. С. 62–69.
6. Специализированная геоинформационная система «Особо охраняемые природные территории Саратовской области» / Ю. В. Волков [и др.] // Всерос. молодежная выставка-конкурс прикладных исследований, изобретений и инноваций : сб. материалов. Саратов, 2009. С. 138.
7. Фёдоров А. В., Данилов В. А., Игонин О. И. Применение геоинформационных технологий при решении геоэкологических задач // Геологи XXI века : материалы IV Всерос. науч. конф. студ., асп. и мол. спец. Саратов, 2003. С. 116–117.
8. Данилов, В. А. Структура и особенности функционирования ГИС-национальный парк (на примере «ГИС-национальный парк «Хвалынский»)// Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2010. Т. 10, вып. 1. С. 41–47.
9. Национальный парк «Хвалынский»: ландшафтная характеристика и географическая информационная система / В. З. Макаров [и др.] ; под ред. В. З. Макарова. Саратов, 2006. 148 с.
10. Электронный учебник по программе MapInfo [электронный ресурс]. – Ресурс доступа : <http://mapinfo.narod.ru/tutorial/index.htm> (дата обращения: 23.09.2013).
11. Геоинформационный метод в практике региональных физико-географических исследований / А. В. Погорелов [и др.] // Тр. / Тебердинский гос. заповедник. Кисловодск, 2007. Вып.45. 200 с.
12. Павлова, А. Н. Геоинформационное моделирование речного бассейна по данным спутниковой съемки SRTM (на примере бассейна р. Терешка) // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2009. Т. 9, вып. 1. С. 39–44.
13. Погорелов, А. В., Думит Ж. А. Морфометрия рельефа бассейна реки Кубани : некоторые результаты цифрового моделирования // Географические исследования Краснодарского края : науч. тр. Краснодар, 2007. Вып. 2. С. 7–23.



## ГЕОЛОГИЯ

УДК 91(32):802.0 +55(32):802.0

### ВЕРОЯТНЫЕ СЦЕНАРИИ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В ДЕЛЬТЕ ЕГИПЕТСКОГО НИЛА

Ю. В. Ваньшин, М. Г. Хассан

Саратовский государственный университет

E-mail: vanshin@sgu.ru

E-mail: mahgebaly1981@yahoo.com

Известно, что изменение климата влияет на многие дельты по всему миру. Египетская дельта Нила – одна из самых опасных, она может страдать от изменения климата. В статье предпринята попытка изучить влияние изменения климата на территорию дельты Нила. Результаты показывают, что эффект глобального потепления влияет на изменение концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере и может повлечь за собой повышение уровня Средиземного моря к концу 2100 года в городе Порт-Саиде (в восточной части дельты Нила) на 1,35 м и в городе Бурулисе (в центральной части дельты Нила) на 1,42 м. Повышение уровня Средиземного моря в целом может отрицательно повлиять и на всю прибрежную территорию Египта, в которой расположены важные промышленные и сельскохозяйственные объекты.

**Ключевые слова:** океан, дельта, Нил, глобальное, потепление, изменение, климат, уровень, Средиземное, море.

#### The Possible Scenario for Climate Change on the Egyptian Nile Delta

U. F. Vanshin, M. G. Hassan

It is known that climate change has an effect on many Deltas all over the world. Egyptian Nile Delta, one of the most dangerous places which may be suffered from risks of climate change. In the current work, an attempt to study the effect of climate change on the Nile Delta has been discussed. The results show that effect of global warming deduced from changing carbon dioxide CO<sub>2</sub> concentration in atmosphere can make increasing in the Mediterranean Sea level at Port Said (east of Nile Delta, Egypt) by 1.35 m and at Burulus (middle of Nile Delta, Egypt) by 1.42 m by the end of 2100. The increasing in Mediterranean Sea level can affect dramatically Egypt because it will take place at very important regions which have a lot of industrial and agriculture projects.

**Key words:** ocean, delta, Nile, global, warming, change, climate, level, Mediterranean, sea.

#### Введение

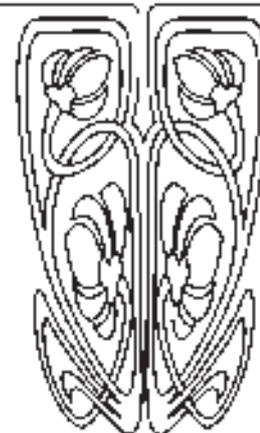
Ожидается, что, несмотря на международные усилия по сокращению выбросов парниковых газов, в следующем столетии будет происходить изменение климата, которое приведёт к усугублению уже существующих экологических проблем во многих странах. В частности, прибрежные районы во всем мире уже страдают от повышения уровня моря (прибрежная эрозия, просадки, загрязнение, подтопление). В Египте самые плодородные земли находятся на побережье дельты Нила и являются наиболее уязвимыми [1].

Регион дельты Нила и вся средиземноморская прибрежная территория представляют собой крупные промышленные и сельскохозяйственные зоны, важные для экономики страны. Регион характеризуется относительно низкими по высоте территориями, в которых происходит повышение уровня моря.

В дельте р. Нил вдоль береговой линии общей протяженностью около 240 км расположены города Александрия (на западе) и Порт-Саид (на востоке). Береговая линия имеет два мыса – Rosetta и Damitta – и три озера – Idfu, Burullus и Manzala, связанных со Средиземным морем. Имеется пять портов, расположенных на побережье: Idku, New Burullus,



НАУЧНЫЙ  
ОТДЕЛ





и El Gamil, являющихся центрами рыболовства, и два коммерческих порта – Damietta и Port-Saïd (рис.1). Города Александрия и Порт-Саид являются и главными экономическими центрами прибрежной зоны. Они также уязвимы к повышению уровня моря в результате низкой высоты прилегающих земель. Многие небольшие города и деревни на побережье также уязвимы при подъёме уровня моря.

Существует много опасностей, связанных с повышением уровня моря, особенно для прибрежных городов Александрия, Розетта и Порт-Саид. Население более 2 млн человек будет вынуждено покинуть свои дома, 214000 рабочих мест будут потеряны, ущерб составит 35 млрд долл. США [2]. Погибнут всемирно известные исторические, культурные и археологические достопримечательности, тысячи акров плодородных сельскохозяй-

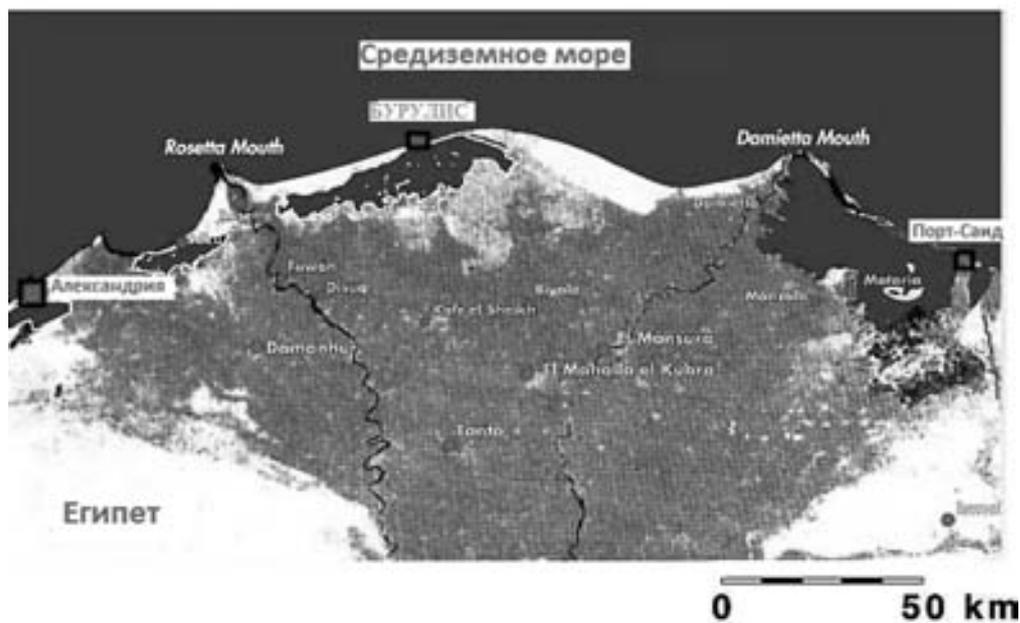


Рис. 1. Современная ситуация территории дельты Нила [1]

ственных земель. Уязвимость других городов в дельте не учитывается [2].

Затопление территории дельты Нила угрожает существованию прибрежной зоны городов и их устойчивому развитию по всей дельте (рис. 2). Повышение уровня моря на 0.5 м может привести к перемещению около 3800000 жителей и около 1800 км<sup>2</sup> пахотных земель. Повышение уровня моря на 1,0 м – к перемещению уже около 6100000 жителей и 4500 км<sup>2</sup> пахотных земель. Таким образом, необходимо изучить факторы, которые могут повлиять на изменение уровня Средиземного моря и попытаться оценить их в будущем.

### Методология

Известно, что Солнце является источником существования жизни на Земле и влияет на подавляющее большинство физических, химических и биологических циклических процессов. Кроме того, солнечная активность (числа Вольфа), вероятно, может играть значительную роль в изменении уровня моря. В статье числа Вольфа взяты из Solar Geophysical Data (SGD) of National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) и National Geophysical Data Center (NGDC) США. В целях изучения влияния солнечной активности эти дан-

ные были проанализированы с учётом изменения уровня моря на северном побережье Египта.

Были использованы данные станции Мауна-Лоа (Гавайи, США) National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) по концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере. Они сравнивались в связи с изменением уровня моря для оценки влияния глобального потепления.

Данные станции в Порт-Саиде, Бурулисе использованы для замеров изменения уровня моря в этих регионах [2]. Прогнозируемые изменения концентрации CO<sub>2</sub> на следующее столетие заимствованы из специального доклада IPCC 2001 (Intergovernmental Panel on Climate Change) [3].

### Результаты

Колебания уровня мирового океана находятся под влиянием геологических и климатических факторов. Установлено, что изменения в пределах Серединного океанического хребта (Атлантический океан) обусловили снижение его уровня на 300 м (1 тыс. футов) в течение последних 80 млн лет [4]. И сегодня опускание поверхности Земли влияет на местный уровень моря. Геологические события, как правило, совершаются медленно и вряд ли ускорятся.

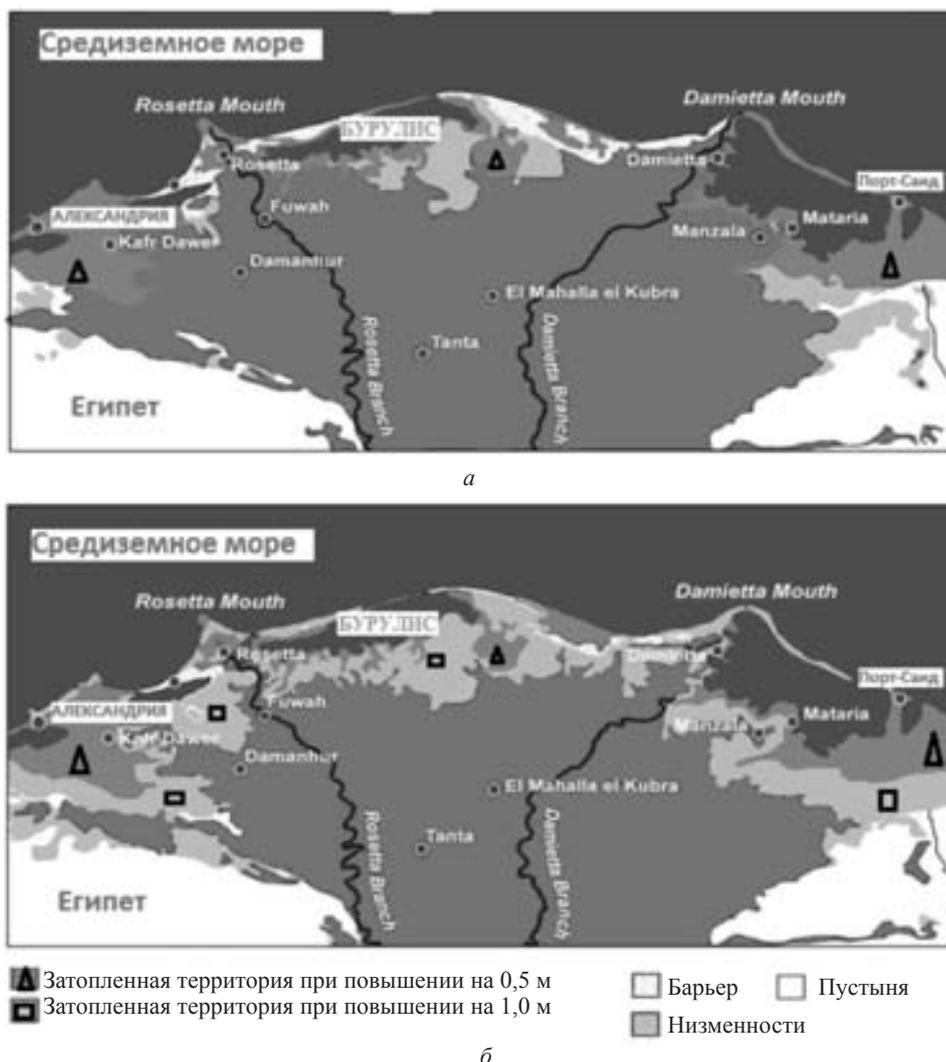


Рис. 2. Потенциальные районы затопления дельты Нила по двум сценариям повышения уровня моря с указанием уязвимых городов дельты [1]: а – при повышении на 0,5 м; б – при повышении на 1 м

Климат влияет на изменения уровня океана путём перемещения воды на Земле между ледниками, расположенных на суше и океанах, а также изменения температуры самой воды. Если все ледники Антарктиды и Гренландии растопить, то уровень океана повысится более чем на 70 м (> 200 футов). За всю историю существования Земли в ледниках накоплено достаточное количество воды для повышения уровня океана примерно на 150 м (500 футов). Полное таяние ледников на суше будет продолжаться тысячи лет, частичное их таяние в следующем столетии может поднять уровень океана на 1 м. Часть льда, находящегося под водой, будет разрушаться быстрее [5].

Два ведущих гляциолога подсчитали, что ледяной покров (морской ледник) может добавить воды в океан за двести [5] и пятьсот лет [6], поднимая уровень океана от 5 до 7 м ( $\approx 20$  футов). Хотя полное таяние ледника не произойдет в ближайшем будущем, его часть и другие ледовые поля, а также горные ледники тоже будут таять

в следующем столетии. Из-за того что вода расширяется при нагревании, тёплый климат может повысить уровень океана и без какого-либо вклада ледников.

Потепление может проходить гораздо дольше, и верхние слои океана могут нагреться быстрее, что приведёт к повышению его уровня на 1 м к 2100 году [6].

В статье рассматриваются отношения между уровнем моря и климатом, объясняется, как повышение атмосферных концентраций  $\text{CO}_2$  может поднять среднюю температуры земной поверхности и тем самым резко изменить климат и уровень моря. Кроме того, учитывается и эффект солнечной активности (числа Вольфа).

Характер изменения соотношений между уровнем Средиземного моря, числами Вольфа и атмосферной концентрацией  $\text{CO}_2$  в городах Бурулис и Порд-Саид отражен на рис. 3, 4. Они показывают, что существует цикл максимума и минимума солнечной активности с периодом



11 лет. Содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере резко изменилось в прошлом веке из-за увеличения выбросов  $\text{CO}_2$  промышленным производством. Существует также тенденция увеличения уровня

Средиземного моря в Бурулисе на 1 мм и в Порт-Саиде 2.3 мм в год.

Корреляция между числами Вольфа и изменением уровня моря в Порт-Саиде и Бурулисе

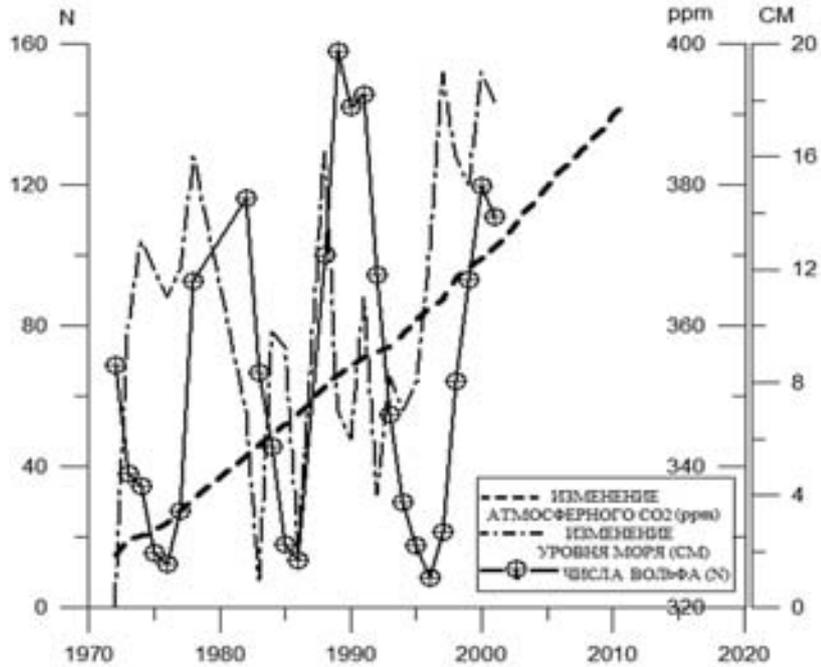


Рис. 3. Корреляции между ежегодными числами Вольфа, уровнем моря (см) и концентрациями  $\text{CO}_2$ , ppm, в Бурулисе (в центре дельты Нила)

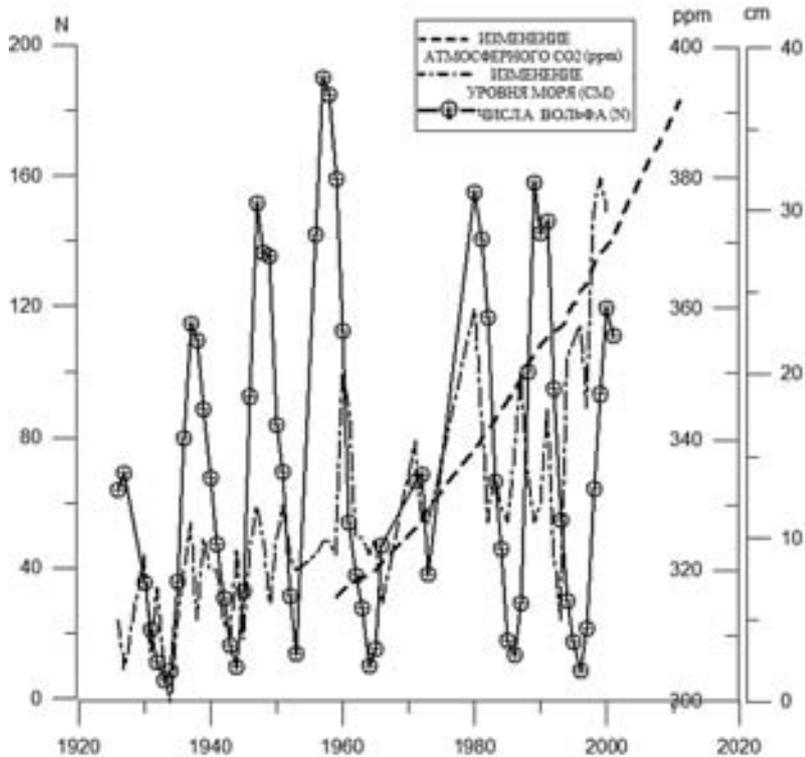


Рис. 4. Корреляции между ежегодными числами Вольфа, уровнем моря, см, и концентрациями  $\text{CO}_2$ , ppm, в Порт-Саиде (восток дельты Нила)



показывает слабые корреляции: в Порт-Саиде с 1926 до 2000 г., где коэффициент  $r = 0.17$ , а с 1972 по 2001 г. в Бурулисе  $r = 0.04$ . Это означает, что эффект изменения солнечной активности проявляется очень медленно, а значит, не может существенно влиять на уровень моря и изменять его в прибрежных территориях дельты Нила.

Взаимосвязь между содержанием атмосферного  $\text{CO}_2$  и колебаниями уровня моря показывает значительную корреляцию  $r = 0.7$  в Бурулисе и  $r = 0.54$  в Порт-Саиде. Это означает, что глобальное потепление приводит к увеличению атмосферного  $\text{CO}_2$  и влияет на увеличение уровня Средиземного моря. Рост глобального уровня океана также влияет на Средиземное море, что проявляется в повышении его уровня в Бурулисе и Порт-Саиде.

Из приведённых результатов можно сделать вывод, что именно глобальное потепление повлияло на изменение уровня Средиземного моря, а не вариации солнечной активности.

Модель линейной регрессии установлена между атмосферным  $\text{CO}_2$  и изменением уровня моря (см. рис. 3, 4). Эта модель соответствует следующему уравнению:

$$Y = a + bX,$$

$Y$  = уровень моря,  $X$  = атмосферные концентрации  $\text{CO}_2$ ,  $a$ ,  $b$  константы:  $a = -143.18$ ,  $b = 0.43$  для Бурулиса,  $a = -127.7$ ,  $b = 0.41$  для Порт-Саида.

При использовании последней модели с будущей атмосферной концентрацией  $\text{CO}_2$ , извлеченной из сценария ИРСС 2001, была сделана оценка изменения уровня моря в Бурулисе и Порт-Саиде в будущем. Сценарий ИРСС для атмосферной концентрации  $\text{CO}_2$  показывает, что она будет резко возрастать в следующем столетии. Содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере может достигнуть до 720 ppm в 2100 году.

Полученный результат показывает, что ожидаемое глобальное потепление из-за увеличения атмосферной концентрации  $\text{CO}_2$  к концу 2100 года приведёт к повышению уровня моря в Бурулисе на 1.42 м и в Порт-Саиде на 1.35 м. Таким образом, вся береговая территория дельты Нила будет погружаться в 2100 году.

## Заключение

Расчёты показывают, что корреляция между содержанием атмосферного  $\text{CO}_2$  и повышением уровня моря является более значительной, нежели корреляция между солнечной активностью и изменением уровня моря. Это связано с тем, что эффект солнечной активности проявляется медленно и не может быстро влиять на изменения уровня моря. В то время как глобальное потепление из-за увеличения атмосферной концентрации  $\text{CO}_2$  может резко поднять уровень моря. Следовательно, к концу 2100 года побережье дельты Нила будет погружаться под влиянием повышения уровня моря. Поэтому необходимо провести дополнительные исследования по этой проблеме.

Для обоснованного прогноза и понимания взаимодействий между темпами повышения-снижения уровня моря, изменчивости топографии региона, неотектоники и современных движений земной поверхности помогут эффективные исследования региона, включая изучение стратегии адаптации, которые сведут к минимуму негативные экономические и экологические последствия для страны.

## Библиографический список

1. Bentley C. The West Antarctic Ice Sheet : Diagnosis and Prognosis: Carbon Dioxide Research Conference : Carbon Dioxide // Science and Consensus. Conference 820970. Department of Energy. Washington, 1983. P. 3–50.
2. El Raey M. Vulnerability assessment of the coastal zone of the Nile delta, Egypt, to the impacts of sea level rise // Ocean and Coastal Management. Egypt. 2009. Vol. 37, № 1. P. 29–40.
3. Fitzgerald D. M. Ann. Reviews of earth and Planet // Science. 2008. Vol. 36. P. 601–647.
4. Hays J. D. Variations in the Earth's Orbit, Pacemaker of the Ice Ages // Science. 1976. Vol. 194. P. 1121–1132.
5. Hughes T. The Stability of the West Antarctic Ice Sheet : What Has Happened and What Will Happen: Carbon Dioxide Research Conference // Science and Consensus. Conference 820970. Department of Energy. Washington, 1983. P. 51–73.
6. Nakićenović N. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, 2001. 213 p.



УДК [551.86:551.762.3](571.122)

## СЕДИМЕНТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ВЕРХНЕЮРСКИХ ПРОДУКТИВНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЯРСОМОВСКОГО УЧАСТКА



О. П. Гончаренко<sup>1</sup>, С. Н. Джони<sup>2</sup>, С. В. Астаркин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Саратовский государственный университет

<sup>2</sup> Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть»,  
Тюмень

E-mail: sv.astarkin@rambler.ru

Проведено комплексное седиментологическое исследование нефтеносного пласта ЮВ<sub>1</sub><sup>1</sup> в пределах юго-восточной части Ярсомовского участка. Установлено, что верхнеюрские отложения в пределах территории изучения представлены прибрежно-континентальными и прибрежно-морскими фациями. На основе выполненных палеогеографических реконструкций, детальных структурных построениях по кровле пласта ЮВ<sub>1</sub><sup>1</sup>, анализа результатов испытания скважин, распределения петрофизических свойств в отдельных субобстановках построена карта прогноза эффективных коллекторов пласта ЮВ<sub>1</sub><sup>1</sup> на изученной территории. **Ключевые слова:** обстановки осадконакопления, коллекторы, нефтегазоносность, пласт ЮВ<sub>1</sub><sup>1</sup>, Западная Сибирь.

### Sedimentation Model of the Upper Jurassic Productive Beds from the Southeast of the Yarsomovskij Site

O. P. Goncharenko, S. N. Dzhoni, S. V. Astarkin

Complex sedimentologic examination of the JV<sub>1</sub><sup>1</sup>oil-bearing bed has been made within the southeastern part of the Yarsomovskij site. The Upper Jurassic beds within the study area were found to be represented by coastal-continent and coastal-marine facies. Paleogeographic reconstructions, detailed structural imaging from the top of the JV<sub>1</sub><sup>1</sup> layer, analyses of the well-test results and of the petrophysical properties distributions in selected sub-environments were used to construct a forecast map of effective reservoirs in the JV<sub>1</sub><sup>1</sup> layer within the study area.

**Key words:** depositional environment, reservoirs, petroleum potential, JV<sub>1</sub><sup>1</sup> layer, West Siberia.

Вследствие значительной выработки запасов крупных месторождений нефти и газа Западной Сибири возникает потребность в изучении территорий, ранее считавшихся малоперспективными. Одной из таких территорий является юго-восточная часть Ярсомовского участка, где установлена промышленная нефтеносность пласта ЮВ<sub>1</sub><sup>1</sup> в пределах Свободного месторождения (рис. 1). Свободное месторождение, эксплуатируемое с 2011 г., расположено в зоне сочленения Сургутского и Нижневартовского нефтегазоносных районов Среднеобской нефтегазоносной области Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции [1, 2]. Пласт ЮВ<sub>1</sub><sup>1</sup> выделяется в составе верхне-васюганской подсвиты и характеризуется повышенными значениями кажущего сопротивления по материалам ГИС.

В Среднем Приобье пласт ЮВ<sub>1</sub><sup>1</sup> является регионально нефтеносным и считается наиболее перспективным объектом юрского комплекса для выявления новых залежей углеводородов. Однако пласт характеризуется сложным строением, и традиционный структурный подход к размещению поисково-оценочных и разведочных скважин не обеспечивает высокой эффективности геолого-разведочных работ, поскольку распространение ловушек в значительной степени контролируется литолого-фациальными, а не структурными факторами. В такой ситуации наиболее достоверный прогноз распространения песчаных тел-коллекторов осуществляется с помощью детального седиментологического анализа на основе комплекса имеющейся геологической информации.

Вопросами состава, строения и условий формирования основных продуктивных горизонтов верхней юры в Среднем Приобье, а также особенностями размещения в них залежей углеводородов занимались С. П. Бульникова, Е. А. Гайдебурова, А. В. Гольберт, А. Э. Конторович, В. А. Конторович, К. Г. Скачек, В. С. Муромцев, Г. П. Мясникова, И. И. Нестеров, А. П. Соколовский, Б. Н. Шурыгин и др. [3–12]. Единой точки зрения на фациальный состав верхнеюрских отложений до настоящего времени не сформировалось. Дискуссионность условий образования васюганских отложений определяет актуальность проводимых седиментологических исследований пласта ЮВ<sub>1</sub><sup>1</sup> в пределах Свободного месторождения, которые дают важную информацию об обстановках его накопления, позволяют определить закономерности распространения песчаных тел, дать прогноз качества коллекторов и в конечном итоге выбрать эффективную методику поисково-разведочных работ в пределах объекта изучения.

С целью выявления особенностей формирования пород-коллекторов пласта ЮВ<sub>1</sub><sup>1</sup> Свободного месторождения (юго-восточная часть Ярсомовского участка) были проведены фациальные исследования. В задачи исследований входило детальное изучение всего имеющегося кондиционного кернового материала и определение его фациальной принадлежности. Район исследований был расширен за счет скважин Восточно-Грибного, Дружного, Яркого, Северо-Васьганского месторождений. В тектоническом плане изученные скважины приурочены к зоне сочленения Когалымской вершины Сургутского





свода и Западно-Котухтинской моноклинали Северо-Вартовской мегатеррасы [13]. Для определения обстановок формирования отложений использовался литолого-фациальный анализ, основы которого изложены в многочисленных обобщающих отечественных и зарубежных изданиях [14–19].

Реконструкция обстановок формирования пласта ЮВ<sub>1</sub><sup>1</sup> проводилась на основе выделения в разрезах литофаций и литофациальных последовательностей с последующей их интерпретацией. Под литофацией мы понимаем тип осадка или породы, образовавшихся в определенной обстановке в определенный момент времени. Литофациальные ассоциации включают в себя группу парагенетически связанных литофаций и отвечают осадочным обстановкам или их частям, в пределах которых устойчивое существование условий седиментации приводило к накоплению характерной последовательности отложений.

Кроме разностороннего изучения керна, включая петрофизику, в проведенных исследованиях широко использовались материалы ГИС, что позволило существенно увеличить представительность выборки при фациальном анализе пласта ЮВ<sub>1</sub><sup>1</sup>. В процессе определения обстановок седиментации по геофизическим данным в качестве эталонных принимались скважины, в которых были проведены отбор и изучение кернового материала. Из всех возможных вариантов реконструируемых обстановок, имеющих сходную характеристику по ГИС, выбирался тот, который был подтвержден литолого-фациальными исследованиями. Это позволило уточнить и детализировать методику фациального анализа по данным ГИС применительно к рассматриваемому объекту. Для бедных фаунистическими остатками отложений актуальным оказалось использование ихнофациального анализа, который позволил дополнить и детализировать выводы об условиях формирования пласта ЮВ<sub>1</sub><sup>1</sup> [20].

В результате проведенных исследований установлено, что на Свободном месторождении верхнеюрские отложения представлены комплексом прибрежно-континентальных и прибрежно-морских фаций барьерного побережья, сформировавшихся под воздействием волновой и приливно-отливной деятельности. Указанные фации и слагают на месторождении продуктивный пласт ЮВ<sub>1</sub><sup>1</sup> (рис. 2).

Прибрежно-континентальный комплекс характеризует нижнюю часть пласта ЮВ<sub>1</sub><sup>1</sup> и представлен обстановкой лагунного побережья. Для субобстановок лагун характерно формирование тонкого ритмичного переслаивания аргиллитов, глинистых алевролитов и мелкозернистых песчаников. При этом в центральных частях лагун обычно преобладают глинистые породы, а в прибрежных частях – алевроитопесчаные. В пределах Свободного месторождения развита субобстановка прибрежной части лагуны, преобладает субгоризонтальная, волнистая, линзовидно-волнистая,

перекрестная пологокосая и косоволнистая слоистость. Осадки местами биотурбированы вертикальными и горизонтальными следами жизнедеятельности ихнофоссилий ихнофаций *Skolithos* и *Cruziana*, что указывает на низкие уровни среды седиментации. Породы часто обогащены органическим материалом, в разной степени углистые, присутствуют мелкие интракласты глинистых пород. Иногда отмечаются признаки, характерные для пляжевых отложений. Проницаемость 0,01–0,02 ( $\times 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>). Пористость насыщения не определена. Палеогидродинамическая активность среды седиментации соответствует низшему, пятому, уровню ( $\alpha$ ПС = 0,0–0,2). Мощность лагунных отложений в изученных разрезах варьирует от 2,5 до 8–11 м.

Общее трансгрессивное развитие поздне-неасоганского седиментационного бассейна определило смену лагунных отложений вверх по разрезу отложениями берегового барьерного бара, который отделяет лагуну от мелководного моря. Разрез барьерного бара представлен песчаниками мелкозернистыми, участками до среднезернистыми, и алевролитами крупно-, мелкозернистыми и обычно отделяется от нижележащих отложений эрозионной поверхностью. Преобладает пологоволнистая, пологонаклонная срезанная и мелкая косая параллельная слоистость, иногда присутствуют линзовидные серии с эрозионными контактами, отмечается мелкая косоволнистая мультислойная слоистость, местами развита массивная текстура. В основании и верхней части цикла появляются алевро-глинистые прослои (вплоть до уровней переслаивания алевролитов и аргиллитов), обуславливающие пологоволнистую и линзовидно-волнистую слоистость. Текстуры нарушены внутриформационными размывами и редкими конседиментационными смятиями. Развита биотурбационная текстура и представлены норками зарывающихся организмов *Skolithos*. В глинистых прослоях встречаются горизонтальные следы жизнедеятельности организмов *Planolites*. В виде тонкокристаллических выделений и разноразмерных конкреций постоянно присутствует пирит. Проницаемость по керну составляет 250–540, участками до 806 ( $\times 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>). Пористость насыщения преимущественно 18–22%. Палеогидродинамический режим среды седиментации соответствует второму уровню гидродинамической активности ( $\alpha$ ПС = 0,8–0,9). Мощность отложений берегового барьерного бара составляет 4–10 м.

В верхней части пласта ЮВ<sub>1</sub><sup>1</sup> установлено развитие прибрежно-морских отложений, формирование которых происходило преимущественно в обстановке предфронтальной зоны пляжа. В предфронтальной зоне пляжа накопление осадков происходило под постоянным воздействием волновых процессов, в результате чего сформировались отложения подводных валов, представленные переслаиванием слоев песчаного, алевроитового и глинистого состава с горизонтальной, волнистой

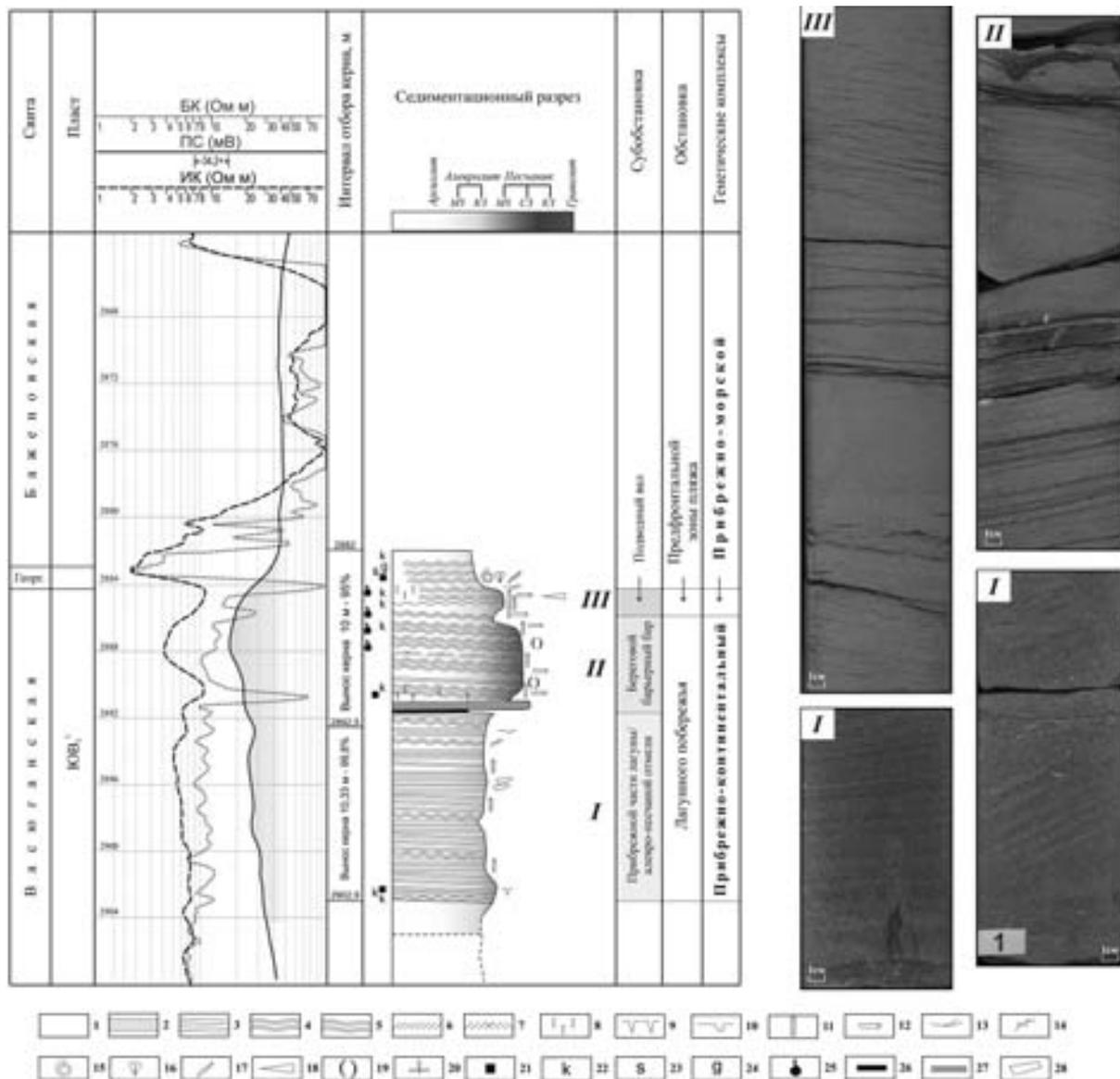


Рис. 2. Вертикальная седиментационная модель пласта ЮВ<sub>11</sub>, вскрытого на Свободном месторождении: 1 – массивная текстура, 2 – горизонтальная слоистость, 3 – субгоризонтальная слоистость, 4 – волнистая слоистость, 5 – наклонно-волнистая слоистость, 6 – косая слоистость, 7 – косая разнонаправленная слоистость, 8 – биотурбация, 9 – трещины, 10 – следы внедрения, 11 – *Skolithos*, 12 – *Planolites*, 13 – *Chondrites*, 14 – углефицированные органические остатки, 15 – аммониты, 16 – двустворки, 17 – костные остатки рыб, 18 – белемниты, 19 – раковинчатый детрит, 20 – остатки флоры, 21 – пирит, 22 – кальцит, 23 – сидерит, 24 – глауконит, 25 – нефтенасыщенность, 26 – угли, 27 – карбонатные породы, 28 – алевро-глинистые интракласты

и линзовидно-волнистой слоистостью, довольно часто с градиционной рассортировкой материала, отражающей спокойные и штормовые условия седиментации. В алевритовых линзах отмечается пологокосая и мелкая косая слоистость. Текстуры нередко нарушены мелкими размывами, слабыми конседиментационными смятиями и внедрениями. Значительно проявлена биотурбация: среди горизонтальных и вертикальных следов жизнедеятельности преобладают ихнофоссилии *Planolites* и *Chondrites* (ихнофагия *Cruziana*). Могут присутствовать раковины морских двустворок. Породы

содержат большое количество стяжений пирита разного размера, наряду с которыми может проявляться послойная сидеритизация. Для данного типа отложений характерны отрицательные аномалии на кривых ГК с постепенными нижними и верхними переходами, отражающие перемещение алевро-песчаного материала. Нередко отложения подводного вала достраивают тела береговых барьерных баров, что, по-видимому, связано с затоплением последних при наступлении моря (георгиевская трансгрессия) и последующей переработкой осадка бассейновыми процессами.



Проницаемость 50–600, реже до 990 ( $\times 10^{-3}$ мкм<sup>2</sup>). Пористость насыщения – 14–25%. Палеогидродинамический режим среды седиментации соответствует второму уровню гидродинамической активности ( $\alpha_{ПС} = 0,6-0,7$ ). Мощность отложений предфронтальной зоны пляжа составляет 1–5 м.

Анализ строения, состава и обстановок формирования пласта ЮВ<sub>1</sub><sup>1</sup> на территории Свободного месторождения позволил решить ряд конкретных практических задач, одной из которых является прогноз зон распространения эффективных коллекторов. После вынесения на седиментационные разрезы данных по фильтрационно-емкостным свойствам пород анализировалась их зависимость от обстановок формирования отложений. Для характеристики петрофизических свойств пород в каждой субобстановке были определены средние значения и разброс значений пористости и проницаемости пород, а также вероятность обнаружения эффективного коллектора. По сложившейся в Западной Сибирской нефтегазоносной провинции практике в качестве эффективного коллектора принимались породы с пористостью более 13% и проницаемостью более  $1 \cdot 10^{-15}$  м<sup>2</sup>. Установлено, что улучшенными коллекторскими свойствами, а также наибольшей вероятностью обнаружения эффективных коллекторов характеризуются отложения субобстановок подводного вала (прибрежно-морской комплекс) и берегового барьерного вала (прибрежно-континентальный комплекс). Петрографический анализ шлифов показал, что отложения этих обстановок характеризуются наиболее грубозернистым составом обломочного материала и содержат наименьшее количество цемента. Состав цемента

обычно сложный: глинистая составляющая, участками диспергированная органическим веществом, представлена пленочно-поровым преимущественного каолиновым материалом. Карбонатная составляющая представлена пелитоморфным поровым, иногда пленочным кальцитом. Увеличение содержания цемента чаще всего происходит за счет карбонатной составляющей – появления порового и порово-базального кальцита. Интенсивная карбонатизация существенно ухудшает коллекторские свойства. Состав обломочной части пород различных субобстановок изменяется незначительно: содержание кварца 40–45%, полевых шпатов 20–30%, обломков пород 30–35%. Полученные нами и имеющиеся опубликованные результаты по корреляционному анализу петрографического состава и гранулометрии песчано-алевритовых пород, являющихся коллекторами преимущественно гранулярного типа. Данные их пористости и проницаемости показывают, что к параметрам, определяющим формирование улучшенных коллекторов, относятся: содержание среднеспаммитовой фракции, медиана, коэффициент сортировки, содержание (доля) каркасных компонентов в обломочной части пород, количество и состав цемента [21, 22]. Эти данные в совокупности с выполненными палеогеографическими реконструкциями позволяют дать прогноз пространственного распространения эффективных коллекторов.

Проведенные исследования показали, что на изучаемой территории горизонт ЮВ<sub>1</sub><sup>1</sup> имеет полифациальную природу и представлен отложениями переходного и морского генезиса (рис. 3). Формирование горизонта происходило на фоне

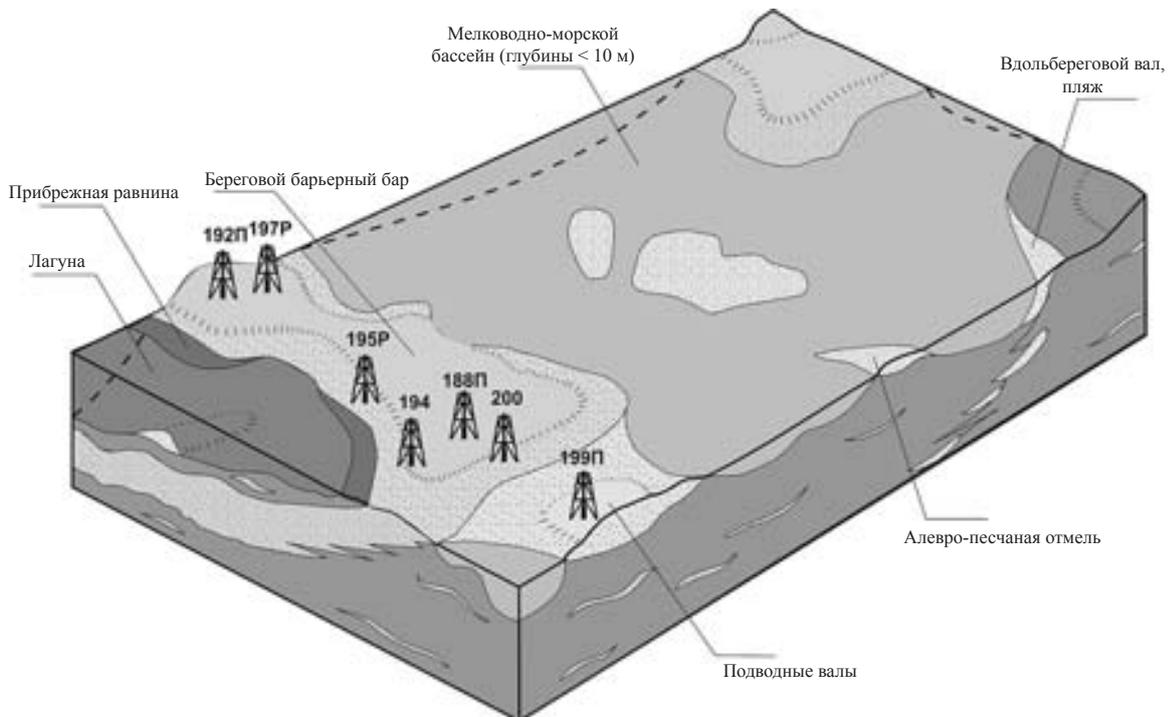


Рис. 3. Фациальная модель обстановки барьерного побережья в пределах Свободного месторождения

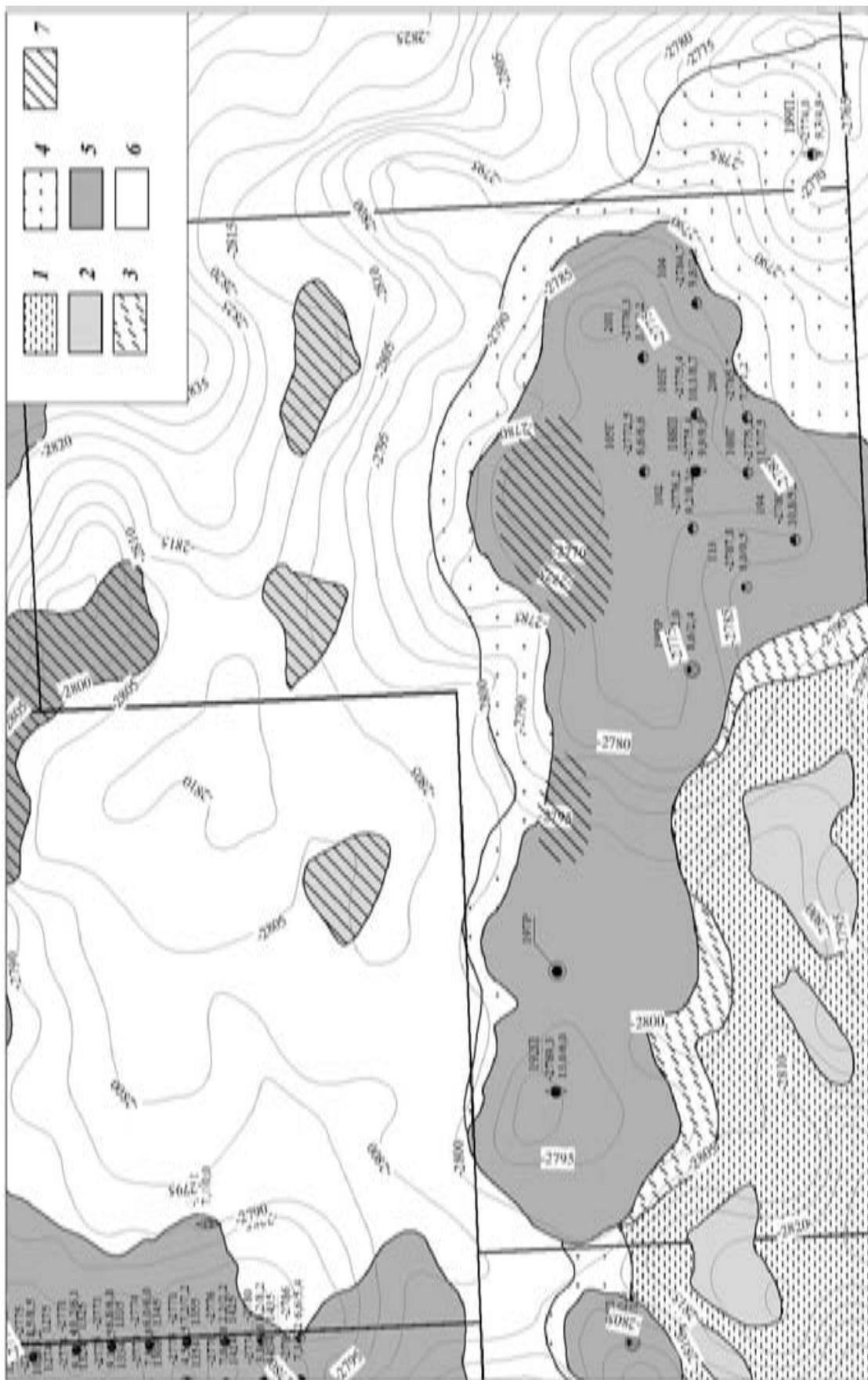


Рис. 4. Схема прогноза эффективных коллекторов нефтеносного пласта ЮВ<sub>1</sub> Свободного месторождения (на основе структурно-карты по кровле пласта ЮВ<sub>1</sub>): группы генетически связанных литофаций: 1 – лагуны, 2 – алеврито-песчаная отмель, 3 – прибрежная часть лагуны, 4 – подводные валы, 5 – береговые барьерные бары, 6 – мелководно-морской комплекс (глубины морского бассейна 10–20 м); 7 – перспективные участки для дальнейших геолого-разведочных работ



общей трансгрессии, носившей неравномерный ингрессионный характер и осложнявшейся особенностями палеорельефа и влиянием местных источников, что отразилось в вертикальном и латеральном взаимоотношении выделенных литофациальных последовательностей. Для выделенных генетических комплексов характерны свои строго определённые закономерности пространственного распространения песчаных тел-коллекторов. Песчаные тела в прибрежно-морских и прибрежно-континентальных комплексах образуют пластовые тела, распространение которых в плане контролировалось палеорельефом, а также количеством обломочного материала и направлениями его поступления с суши.

На основе выполненных палеогеографических реконструкций, анализа фильтрационно-емкостных свойств разнофациальных пород-коллекторов горизонта ЮВ<sub>1</sub><sup>1</sup> и результатов испытания скважин была построена фациальная схема (рис. 4), отражающая латеральную дифференциацию территории исследования с различной вероятностью обнаружения эффективного коллектора, которая в совокупности с детальными структурными построениями по кровле и подошве горизонта ЮВ<sub>1</sub><sup>1</sup>, выполненными с использованием имеющихся материалов сейсморазведочных работ 2D и 3D, свидетельствует об обнаружении залежей УВ в неструктурных и структурных ловушках. Кроме того, выполненные построения позволяют дать характеристику неоднородности коллектора. Разработанная литолого-фациальная модель пласта ЮВ<sub>1</sub><sup>1</sup> в комплексе с геолого-геофизической изученностью позволит выявить закономерности развития и зоны различного качества коллекторов для уточнения геологического строения залежей и прогноза размещения поисково-разведочного и эксплуатационного бурения.

#### Библиографический список

1. Клецев К. А., Шейн В. С. Нефтяные и газовые месторождения России : справочник : в 2 кн. Книга первая – азиатская часть России. М., 2010. 720 с.
2. Колотухин А. Т., Астаркин С. В., Логинова М. П. Нефтегазоносные провинции России и сопредельных стран. Саратов, 2013. 364 с.
3. Палеобиофации нефтегазоносных волжских и неомских отложений Западно-Сибирской плиты / С. П. Булыникова, А. В. Гольберт, И. Г. Климова [и др.]. М., 1978. 87 с.
4. Гайдебурова Е. А. Зоны фациального замещения пород васюганской свиты в связи с блоковой структурой домезозойского фундамента Нюрольской впадины. Методика поисков залежей нефти и газа неантиклинального типа в мезозойских отложениях Западно-Сибирской плиты. Новосибирск, 1977. 150 с.
5. Гольберт А. В., Маркова Л. Г., Полякова И. Д. Палеоландшафты Западной Сибири в юре, мелу и палеогене. М., 1968. 152 с.
6. Геология нефти и газа Западной Сибири / А. Э. Конторович, И. И. Нестеров, Ф. К. Салманов [и др.]. М., 1975. 680 с.
7. Сейсмогеологические адаптивные методы прогноза качества коллекторов и подготовки сложнопостроенных ловушек нефти и газа в верхней юре центральных и южных районов Западной Сибири (горизонт Ю<sub>1</sub> васюганской свиты) / В. А. Конторович, С. А. Бердникова, Л. М. Калинина [и др.] // Геология и геофизика. 2004. Т. 45, № 1. С. 79–90.
8. Кропачев Н. М., Скачек К. Г. Реконструкции литолого-фациальных моделей горизонта Ю<sub>1</sub> васюганской свиты по данным сейсморазведки и бурения. Новосибирск, 2008. 187 с.
9. Муромцев В. С. Электрометрическая геология песчаных тел – литологических ловушек нефти и газа. Л., 1984. 260 с.
10. Мясникова Г. П. Особенности геологического строения структурно-литологических залежей в пласте Ю<sub>1</sub> васюганской свиты // Тр. / ЗапСибНИГНИ. 1979. Вып. 144. С. 50–58.
11. Соколовский А. П. О структурно-фациальных условиях формирования залежей нефти в мезозойских отложениях // Тр. / ЗапСибНИГНИ. 1972. Вып. 61. С. 40–48.
12. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Юрская система // Б. Н. Шурьгин, Б. Л. Никитенко, В. П. Девятков [и др.]. Новосибирск, 2000. 480 с.
13. Шпильман В. И. Пояснительная записка к тектонической карте центральной части Западно-Сибирской плиты. Тюмень, 1999. 200 с.
14. Алексеев В. П. Атлас юрских терригенных отложений (угленосные толщи Евразии). Екатеринбург, 2007. 209 с.
15. Ботвинкина Л. М. Методическое руководство по изучению слоистости // Труды Геологического ин-та АН СССР. М., 1965. Вып. 119. 260 с.
16. Обстановки осадконакопления и фации : в 2 т. Т. 1 / пер. с англ. ; под ред. Х. Рединга. М., 1990. 352 с.
17. Рейнек Г.-Э., Сингх И. Б. Обстановки терригенного осадконакопления. М., 1981. 439 с.
18. Einsele G. Sedimentary basins: evolution, facies and sediment budget. Berlin, 1992. 628 p.
19. Encyclopedia of sediments and sedimentary rocks / ed. V. Gerard. Middleton. Boston, 2003. 821 p.
20. Вакуленко Л. Г., Ян П. А. Юрские ихнофации Западно-Сибирской плиты и их значение для реконструкций обстановок осадконакопления // Новости палеонтологии и стратиграфии. Т. 42, вып. 4. 2001. С. 83–93.
21. Bloch S., Lander R. H., Bonnell L. Anomalously high porosity and permeability in deeply buried sandstone reservoirs: origin and predictability // MPG Bulletin. 2002. Vol. 86, № 2. P. 301–328.
22. Taylor A. W., Ritts B. D. Mesoscale heterogeneity of fluvial-lacustrine reservoir analogues: examples from the Eocene Green River and Colton formations, Uinta basin, Utah, USA // J. Petrol. Geol. 2004. Vol. 27 (1). P. 3–26.



УДК 629.113.004.42

## ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОТРАНСПОРТА НА СОСТОЯНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ЭНГЕЛЬСА (Саратовская область)



Л. В. Гребенюк, В. Н. Ерёмин, М. В. Решетников,  
О. В. Фомина

Саратовский государственный университет,  
E-mail: grebenuk2@yandex.ru

Проведены исследования влияния автотранспорта на состояние атмосферного воздуха и почвенного покрова города Энгельса. Проанализировано движение автотранспорта на городских улицах. Рассчитаны концентрации выхлопных газов от автомобильного транспорта. Установлены взаимосвязи между количеством автомобильного транспорта, концентрацией выхлопных газов и загрязнением почвенного покрова.

**Ключевые слова:** автомобильный транспорт, выхлопные газы, загрязнение почв, свинец, город Энгельс.

### The Assessment of Motor Transport' Influence on a Condition of Atmospheric air and a Soil Cover in the Territory of the Engels City

L. V. Grebenuk, V. N. Eremin, M. V. Reshetnikov,  
O. V. Fomina

The research of motor transport' influence on a condition of atmospheric air and a solid cover of the Engels city are carried out. motor transport movement on city streets is analysed. concentration of exhaust gases from the motor transport are calculated. interrelations between quantity of the motor transport, concentration of exhaust gases and pollution of a soil cover are established.

**Key words:** motor transport, exhausted gases, pollution of a soil, lead, Engels city.

Одним из главных источников загрязнения атмосферного воздуха в городах является автотранспорт. Основная часть загрязнителей поступает от автомобилей в виде отработавших газов (99% всех выбросов), которые содержат оксид углерода, оксиды азота, различные углеводороды, альдегиды, диоксид серы. На придорожные территории попадают продукты износа шин (цинк, кадмий, медь, свинец), тормозных накладок (медь, свинец, хром, никель, цинк) и материалов дорожных покрытий (кадмий, свинец) [1].

Контроль над состоянием воздуха на территории крупных населенных пунктов проводится на стационарных постах наблюдения за атмосферным воздухом (ПНЗ). Система ПНЗ имеет ряд недостатков: во-первых, полученные данные не позволяют оценить вклад автотранспорта и степень загрязнения воздуха на отдельных улицах и в конкретных микрорайонах; во-вторых, стационарные посты наблюдения установлены

далеко не во всех городах. На территории Саратовской области ПНЗ находятся только в г. Саратове (10 постов) и в г. Балаково (3 поста) [2]. В других населенных пунктах области стационарные посты наблюдения отсутствуют.

Для оценки степени загрязнения воздуха от передвижных источников часто используют известные расчетные методики [3–5]. В 1996–1999 гг. в лаборатории урбоэкологии Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского проводились исследования по изучению интенсивности транспортных потоков на основных магистралях городов Саратова, Балаково и Энгельса. По методике Ю. Г. Фельдмана были рассчитаны концентрации выбросов окиси углерода в каждой точке наблюдения [6]. В. З. Макаровым сделан вывод об отсутствии прямой связи между концентрацией загрязняющих веществ и интенсивностью движения автомобилей. На широких магистралях концентрация окиси углерода меньше, чем на узких улицах с многоэтажной застройкой, при одинаковой транспортной нагрузке.

Авторы настоящей публикации в 2012 г. провели аналогичные исследования на ряде улиц г. Энгельса, дополнив их изучением степени загрязнения почвенного покрова свинцом вдоль автотрасс города.

По данным управления ГИБДД ГУ МВД России по Саратовской области, по состоянию на 1 января 2013 г. в Энгельском районе зарегистрировано 83,2 тыс. единиц автомобильного транспорта. Только за последние два года количество автотранспортных средств, зарегистрированных в Энгельском районе, увеличилось почти на 30%. Вклад передвижных источников (автотранспорта) в суммарный выброс загрязняющих веществ в атмосферу муниципального района составил 70,7% (17,7 тыс. т) [2].

Для оценки степени загрязнения атмосферного воздуха г. Энгельса нами произведены анализ транспортной инфраструктуры города и градация автотрасс по интенсивности движения, изучен состав транспортных потоков, определены концентрации загрязняющих веществ. Согласно применяемым в работе методикам на трассах города в зависимости от изменения потока движения машин выбрано 28 точек наблюдения (т. н.) (рис. 1).

Наблюдения за интенсивностью движения автотранспорта проводились в различное время суток (в интервале с 8.00 до 9.00 часов, с 12.00 до 13.00 часов и с 18.00 до 19.00 часов по 20 минут каждого временного интервала) в течение 3 су-



Рис. 1. Схема расположения точек наблюдения за интенсивностью движения автотранспорта в г. Энгельсе

ток. После проведения замеров рассчитывалось среднее арифметическое число проезжающих автомобилей в час через каждую точку. Отдельно велся подсчет легковых, легких грузовых, средних грузовых, тяжелых грузовых автомобилей и автобусов (табл. 1).

Максимальное количество транспорта отмечено на ул. Тельмана (2093 авт./ч), площадь Свободы (1877 авт./ч), ул. Лесозаводская (1385 авт./ч), ул. Волоха (846 авт./ч). Средней загруженностью (около 500 машин в ч), характеризуются улицы Нестерова, Маяковского, Калинина, проспекты Строителей, Энгельса и др. Наименее загруженными, от 29 до 84 машин в час, оказались улицы Лесопильная и Вокзальная. По результатам наблюдений проведена градация дорог г. Энгельса по интенсивности движения автотранспорта. Большинство обследованных улиц относится к автотрассам со средней (8–17 тыс. авт./сут) и высокой (18–27 тыс. авт./сут) интенсивностью движения.

Основной вклад в транспортные потоки вносит легковой транспорт (64–97%, в среднем – 87% от общего числа автомобилей). Максимальное

число грузовиков разной грузоподъемности зафиксировано на ул. Тельмана, ул. Горького и пл. Свободы (158, 139 и 144 авт./ч соответственно). Пассажирские автобусы немногочисленны (в среднем 2% от общего числа транспорта).

Интенсивность движения незначительно меняется в зависимости от времени суток. На большинстве автодорог отмечается некоторое увеличение интенсивности в утренние и вечерние интервалы наблюдений.

Кроме наблюдений за транспортными потоками, в работе использовались расчетные методы определения концентрации загрязняющих веществ на городских автомагистралях. Оценка уровня загрязнения приземного слоя атмосферы выбросами автотранспортных средств по концентрации оксида углерода произведена по известным методикам [3–5]. В примененных методиках при расчетах выбросов используется ряд параметров: общее количество автомобилей, зафиксированное на точке наблюдения в течение часа; количество легковых автомашин, грузовых автомобилей разного типа и автобусов; средняя скорость движения автомобилей; сведения о



Таблица 1

## Результаты наблюдений за интенсивностью движения автотранспорта на улицах г. Энгельса

Но- мер	Наименование улицы	Средняя интенсивность движения автомобилей, час					Всего
		легковые	легкие грузовые	средние грузовые	тяжелые грузовые	автобусы	
1	Просп. Химиков (ул. Космонавтов / ул. Марины Расковой)	356	29	20	16	6	<b>427</b>
2	Просп. Строителей (ул. Ломоносова / ул. Менделеева)	436	35	7	4	20	502
3	Ул. Марины Расковой (ул. Полтавская / ул. Менделеева)	360	13	21	28	4	<b>426</b>
4	Ул. Урожайная (ул. Нестерова / пер. Горный)	267	17	10	6	0	<b>300</b>
5	Ул. Колотилова (пр. 1-й Студенческий / пр. 2-й Студенческий)	252	15	8	6	6	<b>287</b>
6	Ул. Маршала Василевского (ул. Российская / ул. Колотилова)	125	17	14	6	0	<b>162</b>
7	Ул. Студенческая (1-й Пристанский пр. / 1-й геологический пр.)	587	27	23	9	8	654
8	Ул. Полиграфическая (ул. Нестерова / ул. Революционная)	571	50	13	1	13	<b>648</b>
9	Ул. Тельмана (ул. Волоха / ул. Маяковского)	1801	145	13	0	64	<b>2023</b>
10	Ул. М. Горького (ул. Тельмана / ул. Петровская)	586	127	12	0	61	<b>786</b>
11	Ул. М. Горького (ул. Халтурина / ул. Коммунистическая)	302	102	1	0	60	<b>465</b>
12	Ул. Калинина (ул. Петровская / ул. Тихая)	516	12	2	0	57	587
13	Ул. Лесозаводская (ул. Островского / ул. Кривая)	1103	11	27	0	6	<b>1147</b>
14	Ул. Вокзальная (ул. Гоголя / ул. Новобазарная)	64	1	4	1	0	<b>70</b>
15	Ул. Советская (ул. Вокзальная / ул. Пугачевская)	179	5	5	1	0	<b>190</b>
16	Ул. Степная (ул. Волоха / ул. Маяковского)	578	22	11	1	10	<b>622</b>
17	Просп. Фридриха Энгельса (ул. Харьковская / ул. Краснодарская)	504	22	9	0	13	548
18	Просп. Фридриха Энгельса (ул. Одесская / ул. Полтавская)	472	20	11	1	11	<b>515</b>
19	Ул. Краснознаменная (ул. Мира / ул. Амурская)	397	24	32		0	<b>453</b>
20	Ул. Волоха (ул. Тельмана / ул. Петровская)	765	42	17	0	6	<b>830</b>
21	Пл. Свободы (ул. Петровского / ул. Льва Кассиля)	1711	131	13	0	7	<b>1862</b>
22	Ул. Коммунистическая (ул. М. Горького / пл. Свободы)	212	3	4	0	0	219
23	Ул. Нестерова (ул. Московская / ул. Астраханская)	478	35	7	1	3	<b>524</b>
24	Ул. Нестерова (ул. Смоленская / ул. Ленинградская)	268	12	18	4	9	<b>311</b>
25	Ул. Полтавская (ул. Тельмана / ул. Космонавтов)	289	18	18	4	1	<b>330</b>
26	Просп. Волжский (ул. Томская / ул. Мельничная)	578	39	52	44	20	<b>733</b>
27	Ул. Маяковского (ул. Будочная / Дачный пер.)	470	44	32	5	28	579
28	Ул. Лесопильная (1-й Речной пер. / ул. Грозненская)	30	6	2	0	0	<b>38</b>

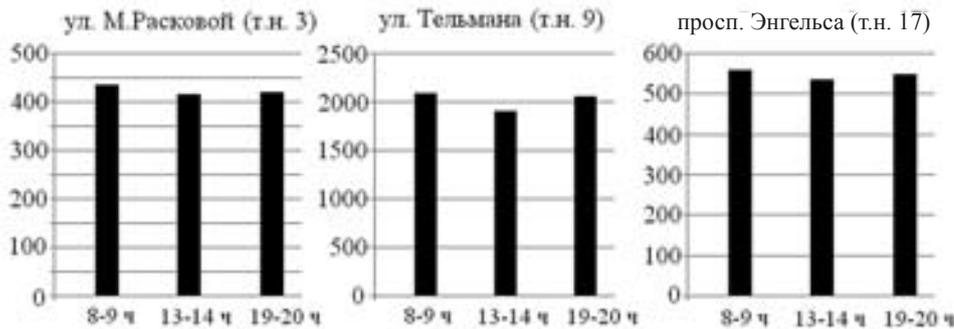


Рис. 2. Диаграммы изменения интенсивности транспортных потоков в зависимости от времени суток на отдельных улицах г. Энгельса

ширине проезжей части и линии застройки; продольный уклон дорожного полотна; этажность зданий; данные о регулировании дорожного движения (светофорное, нерегулируемое, кольцевое движение, движение с обязательной остановкой и т. д.); метеорологические условия (скорость ветра, относительная влажность воздуха); наличие зеленых насаждений вдоль трасс и т. д.

В расчетах по разным методикам используется свой набор параметров. Единый параметр для всех методик – общее количество автомобилей, проезжающих через точку наблюдения за час.

В методике, предложенной В. Ф. Сидоренко и Ю. Г. Фельдманом, для расчетов применяется формула:

$$C_p = K_1 K_2 K_3 (C_0 / vH / 30)^{1/3},$$

где  $C_p$  – расчетная концентрация оксида углерода ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) на краю проезжей части;  $v$  – скорость ветра на улице в пределах 1–10 м/с;  $H$  – ширина улицы в линиях застройки;  $C_0$  – стандартная концентрация оксида углерода, получаемая как

$$C_0 = 7,38 + 0,026N + \sum A/N,$$

где  $N$  – интенсивность движения автотранспорта в авт./ч в двух направлениях;

$\sum A = A_1 + A_2 + A_3$  – сумма поправок, учитывающих долю грузовых автомобилей и автобусов в общем количестве транспорта; изменение средней скорости движения автомобилей, изменение продольного уклона дороги от нулевого.

Коэффициенты  $K_1, K_2, K_3$  учитывают степень снижения токсичности выбросов и количество выбросов за счет усовершенствования автомобильных двигателей и использования лучшего топлива. На практике учесть данные мероприятия сложно, поэтому в расчетах коэффициенты  $K_1, K_2, K_3$  не учитывались.

В расчетной методике С. В. Алексеева с соавторами учитывается расход топлива в зависимости от вида транспорта, тип топлива (бензин, дизельное). Данная методика позволяет рассчитать не только выбросы СО, но и оценить степень загрязнения воздуха диоксидом азота и углекислым диоксидом.

Для расчетов по формуле, предложенной А. И. Федоровой и А. Н. Никольской, применя-

емой для оценки концентрации оксида углерода ( $K_{CO}$ ),

$$K_{CO} = (0,5 + 0,01N \times K_T) \times K_A \times K_Y \times K_C \times K_B \times K_D,$$

где 0,5 – фоновое загрязнение атмосферного воздуха нетранспортного происхождения,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ,

$N$  – суммарная интенсивность движения автомобилей на городской дороге, авт./ч,

В формулу вносятся поправки ( $K_T, K_A, K_Y, K_C, K_B, K_D$ ), значения которых варьируют в зависимости от метеорологических условий, процентного соотношения автомобилей разного типа, уклона местности, характера застройки вдоль автотрассы и т. д.

В целом полученные концентрации выбросов СО, рассчитанные по методикам разных авторов, сопоставимы между собой. Наибольшая корреляция значений концентраций оксида углерода, рассчитанная по разным методикам, документируется для точек наблюдения с интенсивностью движения транспорта от 400 до 2000 авт./ч.

В данной работе приводятся результаты расчетов выбросов оксида углерода по методике А. И. Федоровой и А. Н. Никольской [4]. При подборе коэффициентов скорости ветра принималась за 3 м/с (средняя скорость ветра в г. Энгельсе), относительная влажность воздуха 60%. Продольный уклон местности принимался за  $0^\circ$  для всех точек наблюдения (т. н.). Коэффициент аэрации варьирует от 0,4 до 1 в зависимости от типа застройки вдоль каждой улицы. Предельно допустимая концентрация оксида углерода в атмосфере населенных мест  $\text{ПДК}_{\text{мр}} = 5 \text{ мг}/\text{м}^3$ .

Расчеты показали, что из 28 точек наблюдения только в пяти концентрация оксида углерода не превышает ПДК (пр. Химиков, ул. Вокзальная, ул. Советская, ул. Лесопильная, ул. Полтавская), на остальных автотрассах содержание СО варьирует от 5 до 56,4  $\text{мг}/\text{м}^3$ , что составляет 1–11,3 ПДК (рис. 3).

В целом отмечается прямая схожесть динамики между интенсивностью движения автотранспорта и количеством выбросов загрязняющих веществ (рис. 4).

Анализ результатов показал, что степень аэрации на конкретных точках наблюдения может

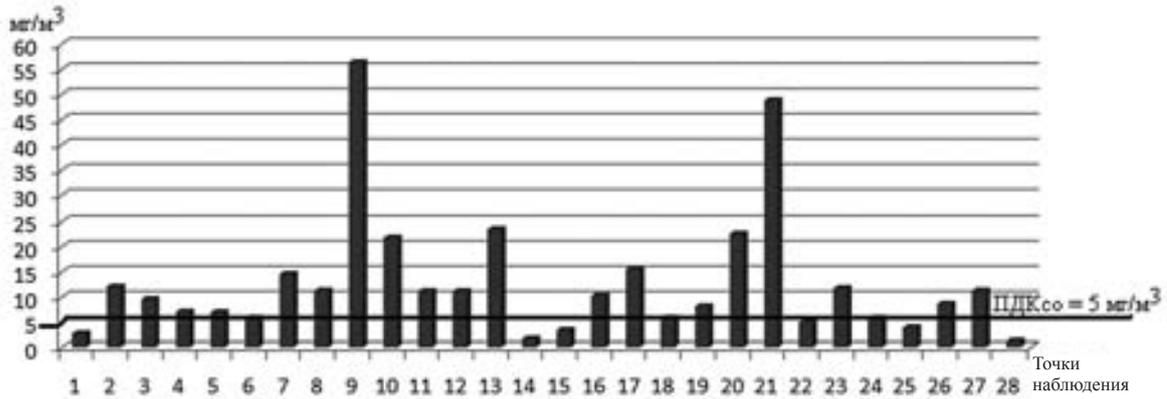


Рис. 3. Диаграмма превышения концентрации оксида углерода над ПДК в точках наблюдения

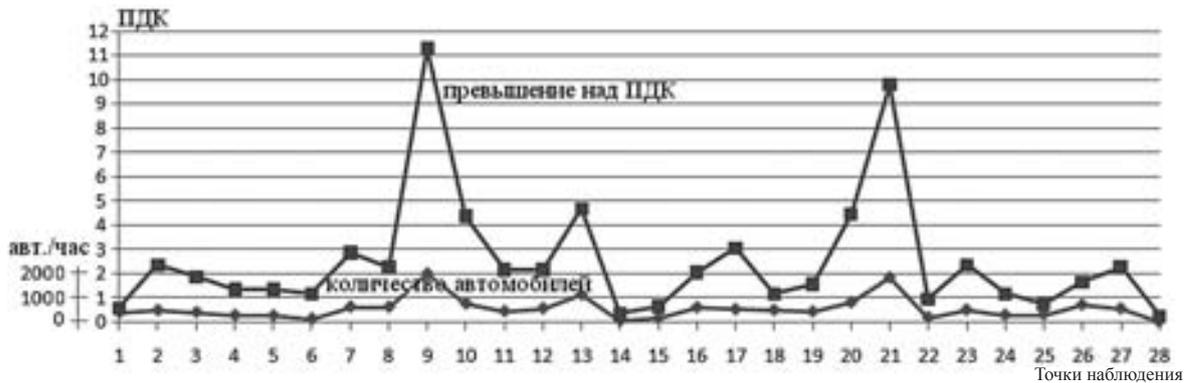


Рис. 4. Графики динамики интенсивности движения автотранспорта и выбросов оксида углерода

несколько исказить прямую зависимость. Например, при одинаковой интенсивности движения на пр. Химиков (т. н. 1, 427 авт./ч) превышение над ПДК не наблюдается из-за хорошей проветриваемости (одноэтажная застройка и пустырь), а на ул. М. Расковой (т. н. 3, 426 авт./ч) с многоэтажной и малоэтажной застройкой с двух сторон превышение составляет 1,9 ПДК. При сравнении результатов в точках наблюдения 4, 24 и 25 отмечено уменьшение концентраций оксида углерода при небольшом увеличении интенсивности движения транспорта (табл. 2).

Для изучения степени загрязнения почвенного покрова соединениями свинца вдоль автотрасс г. Энгельса в 10 из 28 точек наблюдения за интенсивностью движения транспорта были отобраны почвенные образцы. Образцы в каждой точке отбирались трижды в течение 2012 г. (весенний, летний и осенний периоды). Методика отбора почвенных образцов и пробоподготовка велась в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84 [7].

Все отобранные почвенные образцы анализировались на содержание валовых форм соединений свинца. Аналитические работы проводились в аккредитованной лаборатории ФГУ «Государственная станция агрохимической службы «Саратовская» методом атомной абсорбции на спектрофотометре ААС-1N. Валовые формы извлекались путем химического разложения почв кипячением с  $\text{HNO}_3$  (1:1).

Для каждой пробы рассчитывались коэффициент концентрации ( $K_{с\text{фон}}$ ) и коэффициент опасности ( $K_{с\text{ПДК}}$ ) по формулам:

$$K_{с\text{фон}} = C_i / C_{\text{ф}}$$

где  $C_i$  – концентрация элемента в пробе, а  $C_{\text{ф}}$  – фоновая концентрация (9 мг/кг);

$$K_{с\text{ПДК}} = C_i / \text{ПДК}$$

где  $C_i$  – концентрация элемента в пробе, а ПДК – предельно допустимая концентрация свинца в почвах городских территории (32 мг/кг). Результаты исследований представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 2

Зависимость степени загрязнения атмосферы от характера застройки вдоль автотрасс

Номер	Наименование улицы	Характеристика улицы	Интенсивность движения (авт./ч)	Превышение над ПДК
4	Ул. Урожайная	Многоэтажная/малоэтажная застройка	300	1,4
24	Ул. Нестерова	Малоэтажная/малоэтажная застройка	311	1,2
25	Ул. Полтавская	Односторонняя застройка/многоэтажная	330	0,8



Таблица 3

## Результаты исследований почвенных образцов на содержание валовых форм соединений свинца

Номер образца	Результаты исследований отбора проб в 2012 г.								
	Весна			Лето			Осень		
	Pb, мг/кг	$K_{c_{фон}}$	$K_{c_{пдк}}$	Pb, мг/кг	$K_{c_{фон}}$	$K_{c_{пдк}}$	Pb, мг/кг	$K_{c_{фон}}$	$K_{c_{пдк}}$
3	32	3,6	1	36	4	1,13	37	4,1	1,2
5	10,4	1,2	0,3	12	1,3	0,4	14,1	1,6	0,4
7	48	5,3	1,5	53	5,9	1,7	51	5,7	1,6
9	350	38,9	10,9	366	40,7	11,4	367,5	40,8	11,5
12	56	6,2	1,7	57,4	6,4	1,8	60	6,7	1,9
14	7,1	0,8	0,2	7,5	0,8	0,2	7,6	0,8	0,2
17	49	5,4	1,5	51,3	5,7	1,6	52	5,8	1,6
21	91	10,1	2,8	100,2	11,1	3,1	101,1	11,2	3,2
26	54	6	1,7	57	6,3	1,8	57,5	6,4	1,8
28	3,1	0,3	0,1	4,8	0,5	0,2	3	0,3	0,1

Таблица 4

## Средние значения концентрации свинца (Pb), коэффициента концентрации и коэффициента опасности

Номер образца	Наименование улицы	Концентрация Pb (ср.), мг/кг	$K_{c_{фон}}$ (ср.)	$K_{c_{пдк}}$ (ср.)
3	Ул. М. Расковой	35	3,9	1,1
5	Ул. Колотилова	12,2	1,4	0,4
7	Ул. Студенческая	50,7	5,6	1,6
9	Ул. Тельмана	361,2	40,1	11,2
12	Ул. Калинина	57,8	6,4	1,8
14	Ул. Вокзальная	7,4	0,8	0,2
17	Просп. Энгельса	50,8	5,6	1,6
21	Пл. Свободы	97,4	10,8	3,0
26	Просп. Волжский	56,2	6,2	1,8
28	Ул. Лесопильная	3,6	0,4	0,1

Валовые формы свинца обнаружены во всех исследованных пробах в концентрации от 3,6 до 361,2 мг/кг. Анализируя результаты определения коэффициента опасности ( $K_{c_{пдк}}$ ), можно сделать выводы о степени геохимического загрязнения почвенного покрова на территории г. Энгельса. Согласно шкале оценки загрязнения природных сред загрязнение почвенного покрова элементами первого класса опасности по значению коэффициента опасности классифицируется следующим образом: до 1 – допустимое, от 1 до 1,5 – умеренно-опасное, от 1,5 до 3 – опасное, свыше 3 – чрезвычайно опасное [8]. Таким образом, допустимая степень геохимического загрязнения почвенного покрова соединениями свинца зафиксирована на улицах Вокзальная, Лесопильная, Колотилова, умеренно-опасная – на ул. М. Расковой, опасная – на улицах Студенческая, Калинина и проспектах Волжский и Ф. Энгельса. Чрезвычайно опасная

степень загрязнения зафиксирована на ул. Тельмана и пл. Свободы.

Взаимосвязь между интенсивностью движения автотранспорта, концентрацией оксида углерода в составе выхлопных газов и степенью загрязнения почвенного покрова соединениями свинца отражена на рис. 5.

Подобие кривых вариаций всех параметров не вызывает сомнений. Зафиксированная взаимосвязь подтверждает известную модель – высокая плотность автомобильного потока на городских улицах приводит к образованию повышенных концентраций оксида углерода, а также других загрязняющих веществ в приземных слоях атмосферы. Почва как среда, депонирующая загрязняющие соединения, фиксирует долговременное существование интенсивных процессов загрязнения окружающей среды автомобильным транспортом.

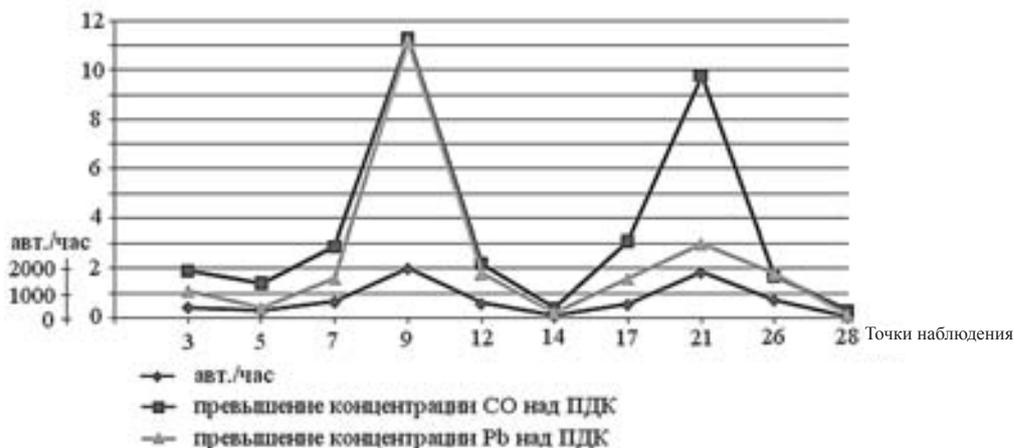


Рис. 5. Графики изменения интенсивности движения автотранспорта, превышения концентрации оксида углерода над ПДК и степени загрязнения почвенного покрова вдоль автотрасс

### Библиографический список

1. Дзюба К. С., Никулин В. В. Автотранспорт // Эковестник Дубны. Дубна, 2001. С. 31–36.
2. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2012 году. Саратов, 2013. 224 с.
3. Фельдман Ю. Г. Гигиеническая оценка автотранспорта как источника загрязнения атмосферного воздуха. М., 1975. 160 с.
4. Федорова А. И., Никольская А. Н. Практикум по экологии и охране окружающей среды : учеб. пособие. Воронеж, 1997. 305 с.

5. Алексеев С. В., Груздева Н. В., Гуцина Э. В. Экологический практикум школьника : учеб. пособие для учащихся. Самара, 2005. 304 с.
6. Макаров В. З. Ландшафтно-экологический анализ крупного промышленного города. Саратов, 2001. 176 с.
7. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического и гельминтологического анализа. М., 2008. 8 с.
8. Экология : геоэкология недропользования : учебник / А. Г. Милютин, Н. К. Андросова, И. С. Калинин, А. К. Порцевский ; под ред. А. Г. Милютина. М., 2007. 440 с.

УДК [517.95+550.837+537.8]

## КРИТЕРИИ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ВЕКТОРНЫХ ПОЛЕЙ МНОЖЕСТВУ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

В. П. Губатенко

Саратовский государственный университет  
E-mail: gubatenkovp@gmail.com

Поставлена задача нахождения критериев принадлежности векторных полей множеству электромагнитных полей. Исследованы вопросы существования и единственности решения данной задачи. Сформулированы искомые критерии для множества переменных электромагнитных полей в частотной области в случае изотропных сред. Показано, что эти критерии разделяют множество переменных электромагнитных полей в линейных изотропных средах на два подкласса, приведены примеры полей, принадлежащих этим подклассам. Рассмотрены вопросы применимости полученных результатов для нахождения аналитических решений уравнений Максвелла и поставлена краевая обратная задача электроразведки.

**Ключевые слова:** геоэлектрика, электроразведка, прямые и обратные задачи, электромагнитное поле, аналитические решения, уравнения Максвелла, дифференциальные уравнения в частных производных.



### Criteria Affiliation of the Vector Fields to the Set of Electromagnetic Fields

V. P. Gubatenko

Problem for finding the criteria of belonging the vector fields to the set of electromagnetic fields is formulated. The existence and uniqueness of the solution of this problem are investigated. The desired criteria for the set of alternating electromagnetic fields in the frequency domain in the case of isotropic media are formulated. It is shown that these criteria are shared set of alternating electromagnetic fields in linear isotropic media into two subclasses. Are examples of the fields belonging to these subclasses. The applicability of the results to find analytical solutions of Maxwell's equations and to formulate of inverse problems of electrical prospecting are considered.



**Key words:** geoelectrics, electrical prospecting, direct and inverse problems, electromagnetic field, analytical solutions, Maxwell's equations, partial differential equations.

## Введение

Теоретическую основу геоэлектрики составляют аналитические и численные решения уравнений Максвелла для линейных изотропных и анизотропных сред. Аналитические решения позволяют в наиболее общем виде исследовать поведение электромагнитного поля в сложной геологической среде и определяют различные алгоритмы интерпретации полевых наблюдений. Обычно для нахождения переменного монохроматического электромагнитного поля исходят из решения различных прямых краевых задач, в которых требуется отыскать из уравнений Максвелла напряженность  $\mathbf{E}$  электрического поля и напряженность  $\mathbf{H}$  магнитного поля по заданному распределению в общем случае частотно-дисперсных материальных параметров среды и возбуждающих электромагнитное поле сторонних электрических и магнитных токов. Если решение уравнений Максвелла находится во всем трехмерном евклидовом пространстве  $R^3$ , то налагается дополнительное условие достаточно быстрого убывания  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$  на бесконечности. В случае же односвязной ограниченной области  $V$  трехмерного евклидова пространства  $R^3$  полагается известной тангенциальная компонента векторов  $\mathbf{E}$  или  $\mathbf{H}$ . Методы нахождения аналитических решений прямых задач хорошо известны [1] и, как правило, сводятся к скаляризации уравнений Максвелла и применению метода разделения переменных. Вместе с тем, число аналитических решений уравнений Максвелла невелико даже в случае двумерных (плоских и осесимметричных) задач.

В то же время решение обратных задач электроразведки применяется, как правило, для уточнения проводимости и формы аномального геологического тела в предположении, что известны электрические параметры среды, вмещающей аномальное тело. К числу основных способов решения обратных задач можно отнести метод подбора и метод продолжения (или миграции) электромагнитного поля. Метод подбора основан на многократном решении прямой задачи электроразведки в рамках заданной модели среды. В случае же метода миграции электромагнитное поле продолжается с дневной поверхности вглубь земли с помощью тензорных функций Грина для вмещающей среды [2–4]. Таким образом, при полном (или частичном) отсутствии геологической информации о параметрах вмещающей среды известные методы решения обратных электроразведки задач не применимы. В этом случае для построения геоэлектрического разреза следует поставить краевые задачи, позволяющие осуществить продолжение электромагнитного поля в изучаемую геологическую среду.

В настоящей работе предлагаются иные методы решения этих задач, основанные на изучении локальных свойств электромагнитного поля с помощью специально поставленной в настоящей работе задачи.

## 1. Постановка задачи определения параметров среды по заданной напряженности электрического поля

Рассмотрим в односвязной ограниченной области  $V$  трехмерного евклидова пространства  $R^3$  два множества  $C_E$  и  $C_H$ , элементами которых соответственно являются произвольные комплексные векторные поля  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$ , зависящие от декартовых прямоугольных координат  $x, y, z$  (точек  $M(x, y, z) \in V$ ) и круговой частоты  $\omega$ . При этом будем считать, что векторы  $\mathbf{E} \in C_E$  наделены физической размерностью  $\text{Вм}^{-1}\text{с}^{-1}$ , а векторы  $\mathbf{H} \in C_H$  – размерностью  $\text{Ам}^{-1}\text{с}^{-1}$ , т. е. векторы множеств  $C_E$  и  $C_H$  соответственно имеют размерности комплексных амплитуд напряженностей электрического и магнитного полей.

Предположим также, что в области  $V$  векторные поля  $\mathbf{E} \in C_E$  и  $\mathbf{H} \in C_H$  удовлетворяют следующим трем условиям:

1.  $\mathbf{E} \neq 0$ ,  $\mathbf{H} \neq 0$  для всех  $M \subset V$ .
2.  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$  являются непрерывно дифференцируемыми векторными полями до третьего порядка включительно.
3. Существуют вещественные обратные преобразования Фурье векторов  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$  по параметру  $\omega$ , следовательно, эти векторы подчиняются условию эрмитовости  $\overline{\mathbf{E}(M, i\omega)} = \mathbf{E}(M, -i\omega)$ ,  $\overline{\mathbf{H}(M, i\omega)} = \mathbf{H}(M, -i\omega)$ , где черта над функцией обозначает комплексное сопряжение этой функции;  $i$  – мнимая единица.

В дальнейшем будем считать, что все функции, зависящие от параметра  $\omega$ , подчиняются условию эрмитовости. Отметим также, что в случаях, когда это не может вызвать недоразумений, будем опускать часть или даже все аргументы у этих функций.

Введем два подмножества  $W_E \subset C_E$  и  $W_H \subset C_H$ , элементы которых являются решениями уравнений Максвелла:

$$\text{rot } \mathbf{H} = \sigma \mathbf{E}, \quad (1)$$

$$\text{rot } \mathbf{E} = i\omega \mu \mathbf{H}, \quad (2)$$

где  $\sigma$  и  $\mu$  – проводимость и магнитная проницаемость. Ввиду большого разнообразия горных пород не будем налагать какие-либо ограничения



на физическую реализуемость проводимости и магнитной проницаемости, фигурирующих в уравнениях (1) и (2). Однако из свойств векторных полей  $\mathbf{E} \in W_E$  и  $\mathbf{H} \in W_H$  следует, что  $\sigma$  и  $\mu$  есть в общем случае комплексные зависящие от частоты  $\omega$  и координат  $x, y, z$  скалярные функции, непрерывно дифференцируемые по координатам в области  $V$ . Кроме того, в области  $V$  потребуем, чтобы  $\sigma \neq 0$  и  $\mu \neq 0$ .

Подчеркнем, что по определению подмножеств  $W_E$  и  $W_H$ , множеств  $C_E$  и  $C_H$  векторы  $\mathbf{E} \in W_E$  и  $\mathbf{H} \in W_H$  есть решения уравнений Максвелла для некоторых скалярных функций  $\sigma$  и  $\mu$ , т. е. подстановка набора функций  $\{\mathbf{E} \in W_E, \mathbf{H} \in W_H, \sigma, \mu\}$  в соотношения (1) и (2) обращает эти соотношения в тождества. В этом случае в области  $V$  векторы  $\mathbf{E} \in W_E$  и  $\mathbf{H} \in W_H$  можно отождествить с комплексными амплитудами напряженностей электрического и магнитного полей, а скалярные функции  $\sigma$  и  $\mu$  – с комплексными проводимостью и магнитной проницаемостью. Назовем объединение  $W$  подмножеств  $W_E$  и  $W_H$  множеством электромагнитных полей в области  $V$ .

Для построения подмножеств  $W_E$  и  $W_H$  и, следовательно, множества  $W$  поставим следующую задачу.

**Задача 1.** Пусть в области  $V$  задан произвольный вектор  $\mathbf{E} \in C_E$  (или  $\mathbf{H} \in C_H$ ) и  $\omega \neq 0$ . Найти в этой области отличные от нуля скалярные функции  $\sigma$  и  $\mu$ , а также вектор  $\mathbf{H} \in C_H$  (или  $\mathbf{E} \in C_E$ ), обращающие соотношения (1) и (2) в тождества.

Если для заданного вектора  $\mathbf{E} \in C_E$  (или  $\mathbf{H} \in C_H$ ) существуют решения поставленной задачи, то набор  $\{\mathbf{E}, \mathbf{H}, \sigma, \mu\}$  обращает уравнения (1) и (2) в тождества, что означает принадлежность векторов  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$  множеству  $W$  электромагнитных полей в области  $V$ . Следовательно, исследование проблемы существования решения задачи 1 позволит в общем виде определить критерии принадлежности произвольных векторных полей множеству  $W$ .

В то же время если найдено аналитическое решение задачи 1, то его можно трактовать следующим образом: векторные поля  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$  являются в области  $V$  аналитическими решениями уравнений Максвелла (1), (2) для среды с найденными в ходе решения задачи 1 проводимостью  $\sigma$  и магнитной  $\mu$  проницаемостью. Тем самым, решение данной задачи открывает возможность пополнения аналитических решений для однородных (свободных от источников) уравнений Максвелла.

## 2. Условия существования решения задачи 1

Пусть в области  $V$  произвольно задан вектор  $\mathbf{E} \in C_E$  и  $\omega \neq 0$ . Найдем условия, при которых существует решение задачи 1. Для этого сформулируем и докажем следующие три утверждения.

1. Для существования решения задачи 1 необходимо и достаточно, чтобы искомая скалярная функция  $\mu$  являлась решением уравнения

$$\mathbf{E} \times \operatorname{rot} \left( \frac{1}{\mu} \operatorname{rot} \mathbf{E} \right) = 0, \quad (3)$$

за исключением случая, когда  $\mu$  – решение уравнения

$$\operatorname{rot} \left( \frac{1}{\mu} \operatorname{rot} \mathbf{E} \right) = 0. \quad (4)$$

*Доказательство. Необходимость.* Пусть для заданного вектора  $\mathbf{E} \neq 0$  существует решение задачи 1, т. е. найдены скалярные функции  $\mu \neq 0$  и  $\sigma \neq 0$ , а также вектор  $\mathbf{H} \neq 0$  такие, что подстановка  $\{\mathbf{E}, \mathbf{H}, \sigma, \mu\}$  в соотношения (1) и (2) обращает их в тождества. Исключая из (1) и (2) вектор  $\mathbf{H}$ , получаем тождество

$$\operatorname{rot} \left( \frac{1}{\mu} \operatorname{rot} \mathbf{E} \right) = i\omega \sigma \mathbf{E}. \quad (5)$$

Правая часть тождества (5) отлична от нуля, поэтому левая часть так же не равна нулю, а значит, функция  $\mu$  не является решением уравнения

(4). Отсюда следует, что векторы  $\operatorname{rot} \left( \frac{1}{\mu} \operatorname{rot} \mathbf{E} \right)$  и

$\mathbf{E}$  коллинеарные, поэтому справедливо тождество

$\mathbf{E} \times \operatorname{rot} \left( \frac{1}{\mu} \operatorname{rot} \mathbf{E} \right) = 0$ , т. е. для заданного вектора  $\mathbf{E} \in C_E$  скалярная функция  $\mu$  есть решение уравнения (3).

*Достаточность.* Пусть для заданного вектора  $\mathbf{E} \neq 0$  функция  $\mu$  есть решение уравнения (3), но не является решением уравнения (4). Тогда соотношение (3) есть тождество, в котором векторы  $\mathbf{E}$  и  $\operatorname{rot} \left( \frac{1}{\mu} \operatorname{rot} \mathbf{E} \right)$  не равны тождественно нулю в области  $V$ . Следовательно, векторы  $\mathbf{E}$  и

$\operatorname{rot} \left( \frac{1}{\mu} \operatorname{rot} \mathbf{E} \right)$  коллинеарные, а значит, справедливо тождество

$\operatorname{rot} \left( \frac{1}{\mu} \operatorname{rot} \mathbf{E} \right) = \lambda \mathbf{E}$ , где

$$\operatorname{rot} \left( \frac{1}{\mu} \operatorname{rot} \mathbf{E} \right) = \lambda \mathbf{E}, \quad (6)$$

где



$$\lambda = \frac{1}{E^2} \left( \mathbf{E}, \text{rot} \left( \frac{1}{\mu} \text{rot} \mathbf{E} \right) \right) \neq 0. \quad (7)$$

Положим, что искомые в задаче 1 функции  $\sigma$  и  $\mathbf{H}$  равны:

$$\sigma = \frac{\lambda}{i\omega}, \quad \mathbf{H} = \frac{1}{i\omega\mu} \text{rot} \mathbf{E}, \quad (8)$$

где  $\mu$  – решение уравнения (3). Нетрудно убедиться в том, что сформированный набор функций  $\{\mathbf{E} \in C_E, \mathbf{H} \in C_H, \sigma, \mu\}$  обращает уравнения (1) и (2) в тождества в области  $V$ . Следовательно, существование решения  $\mu$  уравнения (3) для заданного вектора  $\mathbf{E} \in C_E$  при условии, что  $\mu$  не является решением уравнения (4), влечет для этого вектора существование решения задачи 1. Утверждение доказано.

*Следствие из утверждения 1.* Пусть задача 1 решается при дополнительном условии: магнитная проницаемость  $\mu$  задана и не зависит от координат, т. е.  $\mu = \mu_0(i\omega)$ . В этом случае из утверждения 1 сразу следует, что решение этой задачи существует тогда и только тогда, когда заданный вектор  $\mathbf{E}$  удовлетворяет в области  $V$  нелинейному уравнению:

$$\mathbf{E} \times \text{rot rot} \mathbf{E} = 0, \quad (9)$$

при этом  $\text{rot rot} \mathbf{E} \neq 0$ . Если эти условия выполнены, то искомые величины  $\sigma$  и  $\mathbf{H}$  определяются соотношениями

$$\lambda = \frac{1}{\mu_0 E^2} (\mathbf{E}, \text{rot rot} \mathbf{E}), \quad \sigma = \frac{\lambda}{i\omega}, \quad \mathbf{H} = \frac{1}{i\omega\mu_0} \text{rot} \mathbf{E}. \quad (10)$$

2. Решение задачи 1 для заданного вектора  $\mathbf{E} \in C_E$  существует тогда и только тогда, когда всюду области  $V$  вектор  $\mathbf{E}$  удовлетворяет одному из следующих двух условий:

1)

$$\text{rot} \left\{ \frac{1}{(\text{rot} \mathbf{E}, \text{rot rot} \mathbf{E})} \text{div} \left[ \frac{(\text{rot} \mathbf{E}, \text{rot rot} \mathbf{E})}{(\mathbf{E}, \text{rot} \mathbf{E})} \mathbf{E} \right] \times \right. \\ \left. \times \text{rot} \mathbf{E} + \frac{1}{(\mathbf{E}, \text{rot} \mathbf{E})} (\mathbf{E} \times \text{rot rot} \mathbf{E}) \right\} = 0,$$

$$(\mathbf{E}, \text{rot} \mathbf{E}) \neq 0, \quad (\text{rot} \mathbf{E}, \text{rot rot} \mathbf{E}) \neq 0;$$

$$2) (\mathbf{E}, \text{rot} \mathbf{E}) = 0, \quad (\text{rot} \mathbf{E}, \text{rot rot} \mathbf{E}) = 0, \quad \text{rot} \mathbf{E} \neq 0.$$

*Доказательство. Необходимость.* Пусть для вектора  $\mathbf{E} \in C_E$  существует решение задачи 1, т. е. для заданного  $\mathbf{E} \in C_E$  существует вектор  $\mathbf{H} \in C_H$ , а также скалярные функции  $\sigma \neq 0$  и  $\mu \neq 0$  такие, что набор  $\{\mathbf{E} \in C_E, \mathbf{H} \in C_H, \sigma, \mu\}$  обращает уравнения (1) и (2) в тождества. Покажем, что выполняется первое или второе условие

утверждения 2. Нетрудно записать вытекающие из (1) и (2) тождества:

$$\begin{aligned} (\text{rot} \mathbf{E}, \text{rot rot} \mathbf{E}) &= i\omega\mu (\mathbf{H}, \text{rot rot} \mathbf{E}) = \\ &= i\omega\mu [(\mathbf{H}, \text{rot rot} \mathbf{E}) - \\ &- (\text{rot} \mathbf{E}, \text{rot} \mathbf{H}) + (\text{rot} \mathbf{E}, \text{rot} \mathbf{H})] = \\ &= i\omega\mu [-\text{div}(\mathbf{H} \times \text{rot} \mathbf{E}) + \\ &+ \sigma(\mathbf{E}, \text{rot} \mathbf{E})] = i\omega\mu [-i\omega\mu \text{div}(\mathbf{H} \times \mathbf{H}) + \\ &+ \sigma(\mathbf{E}, \text{rot} \mathbf{E})] = \\ &= i\omega\mu\sigma (\mathbf{E}, \text{rot} \mathbf{E}) = -\omega^2\mu^2\sigma (\mathbf{E}, \mathbf{H}), \\ \text{div} \left[ \frac{(\text{rot} \mathbf{E}, \text{rot rot} \mathbf{E})}{(\mathbf{E}, \text{rot} \mathbf{E})} \mathbf{E} \right] &= \\ &= i\omega \text{div} \mu\sigma \mathbf{E} = i\omega \text{div} (\mu \text{rot} \mathbf{H}) = \\ &= i\omega (\text{grad} \mu, \text{rot} \mathbf{H}) = i\omega\sigma (\text{grad} \mu, \mathbf{E}), \\ \mathbf{E} \times \text{rot rot} \mathbf{E} &= i\omega (\mathbf{E} \times \text{rot} \mu\mathbf{H}) = \\ &= i\omega \mathbf{E} \times (\mu \text{rot} \mathbf{H} + \text{grad} \mu \times \mathbf{H}) = \\ &= i\omega \mathbf{E} \times (\mu\sigma \mathbf{E} + \text{grad} \mu \times \mathbf{H}) = \\ &= i\omega [(\mathbf{E}, \mathbf{H}) \text{grad} \mu - (\text{grad} \mu, \mathbf{E})] \mathbf{H} \end{aligned}$$

Таким образом,

$$\begin{aligned} (\text{rot} \mathbf{E}, \text{rot rot} \mathbf{E}) &= i\omega\mu\sigma (\mathbf{E}, \text{rot} \mathbf{E}) = \\ &= -\omega^2\mu^2\sigma (\mathbf{E}, \mathbf{H}), \end{aligned} \quad (11)$$

$$\text{div} \left[ \frac{(\text{rot} \mathbf{E}, \text{rot rot} \mathbf{E})}{(\mathbf{E}, \text{rot} \mathbf{E})} \mathbf{E} \right] = i\omega\sigma (\text{grad} \mu, \mathbf{E}), \quad (12)$$

$$\mathbf{E} \times \text{rot rot} \mathbf{E} = i\omega [(\mathbf{E}, \mathbf{H}) \text{grad} \mu - (\text{grad} \mu, \mathbf{E})] \mathbf{H}. \quad (13)$$

Вывод формулы (11) основан на тождестве векторного анализа [5]:

$$\text{div}(\mathbf{a} \times \mathbf{b}) = (\mathbf{b}, \text{rot} \mathbf{a}) - (\mathbf{a}, \text{rot} \mathbf{b}), \quad (14)$$

формула (12) следует из (11), а для доказательства тождества (13) применялось тождество векторной алгебры [5]:

$$\mathbf{a} \times (\mathbf{c} \times \mathbf{b}) = (\mathbf{a}, \mathbf{b})\mathbf{c} - (\mathbf{c}, \mathbf{a})\mathbf{b}. \quad (15)$$

Формула (12) имеет смысл, если  $(\mathbf{E}, \text{rot} \mathbf{E}) \neq 0$  в области  $V$ .

Пусть  $(\mathbf{E}, \text{rot} \mathbf{E}) \neq 0$ ,  $(\text{rot} \mathbf{E}, \text{rot rot} \mathbf{E}) \neq 0$ . Введем вектор

$$\begin{aligned} \mathbf{F}^E &= \frac{1}{(\text{rot} \mathbf{E}, \text{rot rot} \mathbf{E})} \text{div} \left[ \frac{(\text{rot} \mathbf{E}, \text{rot rot} \mathbf{E})}{(\mathbf{E}, \text{rot} \mathbf{E})} \mathbf{E} \right] \text{rot} \mathbf{E} + \\ &+ \frac{1}{(\mathbf{E}, \text{rot} \mathbf{E})} (\mathbf{E} \times \text{rot rot} \mathbf{E}) \end{aligned} \quad (16)$$

и покажем, что

$$\text{rot} \mathbf{F}^E = 0. \quad (17)$$

Действительно, учитывая тождество  $\text{rot} \mathbf{E} = i\omega\mu \mathbf{H}$  и подставляя формулы (11) – (13) в выражение (16), получаем:



$$\mathbf{F}^E = \frac{1}{\mu} \text{grad } \mu = \text{grad}(\ln \mu). \quad (18)$$

Отсюда следует, что вектор  $\mathbf{F}^E$  потенциальный, поэтому справедливо тождество (17). Необходимость первого условия утверждения 2 доказана.

При доказательстве необходимости первого условия данного утверждения использовалось существенное ограничение – скаляры  $(\mathbf{E}, \text{rot } \mathbf{E})$  и  $(\text{rot } \mathbf{E}, \text{rot rot } \mathbf{E})$  отличны от нуля в области  $V$ . В противном случае, теряется смысл вектора  $\mathbf{F}^E$ . Из условий  $\mathbf{E} \neq 0$ ,  $(\mathbf{E}, \text{rot } \mathbf{E}) \neq 0$  следует, что и  $\text{rot } \mathbf{E} \neq 0$ . Так как  $\mu \neq 0$ ,  $\omega \neq 0$ , то формула (11) раскрывает физический смысл ограничения  $(\mathbf{E}, \text{rot } \mathbf{E}) = i\omega\mu(\mathbf{E}, \mathbf{H}) \neq 0$ : напряженности электрического  $\mathbf{E}$  и магнитного  $\mathbf{H}$  полей не ортогональны в области  $V$ .

Рассмотрим оставшиеся случаи. Поскольку  $\mu \neq 0$ ,  $\sigma \neq 0$ ,  $\omega \neq 0$ , то, как следует из формулы (11), случаи  $(\mathbf{E}, \text{rot } \mathbf{E}) \neq 0$ ,  $(\text{rot } \mathbf{E}, \text{rot rot } \mathbf{E}) = 0$  и  $(\mathbf{E}, \text{rot } \mathbf{E}) = 0$ ,  $(\text{rot } \mathbf{E}, \text{rot rot } \mathbf{E}) \neq 0$  невозможны. Тождеству (11) не противоречит последний случай:  $(\mathbf{E}, \text{rot } \mathbf{E}) = 0$ ,  $(\text{rot } \mathbf{E}, \text{rot rot } \mathbf{E}) = 0$ . Он будет иметь место, например, если  $\text{rot } \mathbf{E} = 0$ , что означает потенциальность вектора  $\mathbf{E}$ . Но, как следует из соотношения (2), такая ситуация невозможна, так как по предположению  $\mathbf{H} \neq 0$ ,  $\mu \neq 0$ ,  $\omega \neq 0$ . Поэтому при выполнении условий  $(\mathbf{E}, \text{rot } \mathbf{E}) = 0$ ,  $(\text{rot } \mathbf{E}, \text{rot rot } \mathbf{E}) = 0$  надо исключить случай  $\text{rot } \mathbf{E} = 0$ . Второе необходимое условие утверждения 2 доказано. Заметим лишь, что поскольку  $\mathbf{E} \neq 0$  и  $\text{rot } \mathbf{E} \neq 0$ , то случай  $(\mathbf{E}, \text{rot } \mathbf{E}) = 0$ ,  $(\text{rot } \mathbf{E}, \text{rot rot } \mathbf{E}) = 0$  влечет ортогональность векторов  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$ . Следовательно, второе условие утверждения 2 является вырожденным – векторные поля  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$  ортогональны.

*Достаточность.* Докажем, что для заданного  $\mathbf{E} \in C_E$  при выполнении первого или второго условия утверждения 2 решение задачи 1 существует. В соответствии с утверждением 1 исследование вопроса существования решения задачи 1 сводится к изучению совместности уравнения (3). Это исследование можно провести, записывая уравнение (3) в прямоугольных декартовых координатах  $x, y, z$  в виде системы трех дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка и изучая совместность полученной системы. Тем не менее доказательство утверждения 2 будем преимущественно проводить в векторной форме, что приведет к тем же результатам, но значительно быстрее.

Для сокращения записи формул введем обозначения  $\xi = \ln \mu$ ,  $\mathbf{Q} = \text{rot } \mathbf{E}$ ,  $\mathbf{R} = \text{rot rot } \mathbf{E} = \text{rot } \mathbf{Q}$ . Запишем уравнение (3) в виде

$$\mathbf{E} \times (\text{grad } \xi \times \mathbf{Q}) = \mathbf{E} \times \mathbf{R}. \quad (19)$$

Применяя тождество (15) к левой части этого уравнению, получаем то же уравнение, но в другой форме

$$(\mathbf{E}, \mathbf{Q}) \text{grad } \xi - (\text{grad } \xi, \mathbf{E}) \mathbf{Q} = \mathbf{E} \times \mathbf{R}. \quad (20)$$

Скалярное произведение левой и правой частей соотношения (20) на вектор  $\mathbf{R}$  и векторное произведение того же на вектор  $\mathbf{Q}$  приводит к соотношениям

$$(\mathbf{E}, \mathbf{Q})(\text{grad } \xi, \mathbf{R}) - (\mathbf{Q}, \mathbf{R})(\text{grad } \xi, \mathbf{E}) = 0, \quad (21)$$

$$(\mathbf{E}, \mathbf{Q}) \text{grad } \xi \times \mathbf{Q} = -\mathbf{G}, \quad (22)$$

где

$$\mathbf{G} = (\mathbf{Q}, \mathbf{R})\mathbf{E} - (\mathbf{E}, \mathbf{Q})\mathbf{R} = \mathbf{Q} \times (\mathbf{E} \times \mathbf{R}). \quad (23)$$

Если  $(\mathbf{E}, \mathbf{Q}) \neq 0$ , то соотношение (22) примет вид

$$\text{grad } \xi \times \mathbf{Q} = -\frac{\mathbf{G}}{(\mathbf{E}, \mathbf{Q})}. \quad (24)$$

Поддействуем оператором  $\text{div}$  на обе части выражения (24) и применим тождество (14). Тогда

$$(\text{grad } \xi, \mathbf{R}) = \text{div} \frac{\mathbf{G}}{(\mathbf{E}, \mathbf{Q})}, \quad (25)$$

и при  $(\mathbf{E}, \mathbf{Q}) \neq 0$ ,  $(\mathbf{Q}, \mathbf{R}) \neq 0$ , как следует из выражений (21) и (25), имеем

$$(\text{grad } \xi, \mathbf{E}) = \frac{(\mathbf{E}, \mathbf{Q})}{(\mathbf{Q}, \mathbf{R})} \text{div} \frac{\mathbf{G}}{(\mathbf{E}, \mathbf{Q})}.$$

Применяя последнее соотношение и формулу (20), находим

$$\text{grad } \xi = \mathbf{F}^E, \quad (26)$$

где вектор  $\mathbf{F}^E = (F_x^E, F_y^E, F_z^E)$  определяется выражением

$$\mathbf{F}^E = \frac{1}{(\mathbf{Q}, \mathbf{R})} \text{div} \left[ \frac{(\mathbf{Q}, \mathbf{R})}{(\mathbf{E}, \mathbf{Q})} \mathbf{E} \right] \mathbf{Q} + \frac{1}{(\mathbf{E}, \mathbf{Q})} (\mathbf{E} \times \mathbf{R}).$$

Переходя к старым обозначениям, видим, что

$$\mathbf{F}^E = \frac{1}{(\text{rot } \mathbf{E}, \text{rot rot } \mathbf{E})} \text{div} \left[ \frac{(\text{rot } \mathbf{E}, \text{rot rot } \mathbf{E})}{(\mathbf{E}, \text{rot } \mathbf{E})} \mathbf{E} \right] \text{rot } \mathbf{E} + \frac{1}{(\mathbf{E}, \text{rot } \mathbf{E})} (\mathbf{E} \times \text{rot rot } \mathbf{E}),$$

т. е. данное выражение для вектора  $\mathbf{F}^E$  совпадает с выражением (16).

Рассмотрим три разных случая, которыми исчерпывается все ситуации, встречающиеся при решении задачи 1.



1). Пусть  $(\mathbf{E}, \mathbf{Q}) \neq 0$  и  $(\mathbf{Q}, \mathbf{R}) \neq 0$ . Тогда  $\mathbf{Q} \neq 0$  и  $\mathbf{R} \neq 0$ , и уравнение (26) получено в результате последовательного применения тождественных преобразований уравнения (19), не обращающих в тождества соотношения (20)–(26), если функция  $\xi$  не является решением уравнения (19). Если же  $\xi$  – решение уравнения (19), то эти соотношения обращаются в тождества и поэтому всякое решение  $\xi$  уравнения (19) является так же решением уравнения (26). Справедливо и обратное утверждение: любое решение  $\xi$  уравнения (26) есть решение уравнения (19). В самом деле, пусть функция  $\xi$  – решение уравнения (26). Тогда соотношение (26) обращается в тождество. При этом условии вычислим левую часть соотношения (19). Применяя формулы (15) и (23), получаем

$$\begin{aligned} \text{grad } \xi \times \mathbf{Q} &= \vec{F}^E \times \mathbf{Q} = \left( \frac{1}{(\mathbf{Q}, \mathbf{R})} \text{div} \left[ \frac{(\mathbf{Q}, \mathbf{R})}{(\mathbf{E}, \mathbf{Q})} \mathbf{E} \right] \mathbf{Q} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{(\mathbf{E}, \mathbf{Q})} (\mathbf{E} \times \mathbf{R}) \right) \times \mathbf{Q} = \\ &= \frac{1}{(\mathbf{E}, \mathbf{Q})} (\mathbf{E} \times \mathbf{R}) \times \mathbf{Q} = -\frac{1}{(\mathbf{E}, \mathbf{Q})} \mathbf{Q} \times (\mathbf{E} \times \mathbf{R}) = \\ &= -\frac{1}{(\mathbf{E}, \mathbf{Q})} [(\mathbf{Q}, \mathbf{R})\mathbf{E} - (\mathbf{E}, \mathbf{Q})\mathbf{R}] \end{aligned}$$

и тогда

$$\mathbf{E} \times (\text{grad } \xi \times \mathbf{Q}) = \mathbf{E} \times \mathbf{R}$$

т. е. левая часть соотношения (19) тождественно равна правой части этого соотношения. Следовательно, всякое решение уравнения (26) есть решение уравнения (19).

Данный результат позволяет сделать следующий вывод: при заданном векторе  $\mathbf{E}$  и дополнительных условиях  $(\mathbf{E}, \mathbf{Q}) \neq 0$ ,  $(\mathbf{Q}, \mathbf{R}) \neq 0$  или не существует решений уравнений (19) и (26), или эти уравнения имеют одни и те же решения. Очевидно, что решение уравнения (26) существует тогда и только тогда, когда вектор  $\mathbf{F}^E$  является потенциальным, т. е.  $\text{rot } \mathbf{F}^E = 0$ . Значит, если  $\text{rot } \mathbf{F}^E = 0$  и  $(\mathbf{E}, \mathbf{Q}) \neq 0$ ,  $(\mathbf{Q}, \mathbf{R}) \neq 0$ , то уравнение (19) имеет те же решения, что и уравнение (26).

При выполнении условий  $(\mathbf{E}, \mathbf{Q}) \neq 0$ ,  $(\mathbf{Q}, \mathbf{R}) \neq 0$ ,  $\text{rot } \mathbf{F}^E = 0$  общее решение уравнения (26) и, следовательно, общее решение уравнения (19) имеют вид

$$\mu = \mu_0(i\omega) \exp \left( \int_{M_0}^M F_x^E dx + F_y^E dy + F_z^E dz \right), \quad (27)$$

где  $\vec{F}^E = (F_x^E, F_y^E, F_z^E)$ ;  $M(x, y, z) \in V$ ,  $M_0(x_0, y_0, z_0) \in V$ .

Подставляя найденное решение (27) в формулы (7) и (8), найдем напряженность  $\mathbf{H}$  магнитного поля и проводимость  $\sigma$ . Комплексная магнитная проницаемость  $\mu$ , так же как и комплексная проводимость  $\sigma$ , определяется с точностью до произвольного не зависящего от координат множителя  $\mu_0(i\omega)$ . Достаточность первого условия утверждения 2 доказана.

2. Пусть  $(\mathbf{E}, \mathbf{Q}) \neq 0$ ,  $(\mathbf{Q}, \mathbf{R}) = 0$ . Тогда, как следует из выражений (21)–(23), для функции  $\xi$  имеем уравнения

$$(\text{grad } \xi \times \mathbf{Q}) = \mathbf{R}, \quad (28)$$

$$(\text{grad } \xi, \mathbf{R}) = 0. \quad (29)$$

Уравнение (29) является следствием уравнения (28), в чем легко убедиться, вычисляя векторное произведение левой и правой частей уравнения (28) на вектор  $\mathbf{R}$  и применяя формулу (15). Поэтому всякое решение уравнения (28) будет решением уравнения (29), и уравнение (29) можно опустить.

В то же время не трудно заметить, что уравнения (4) и (28), записанные в одних обозначениях, идентичны. Как было уже показано при доказательстве утверждения 1, решение  $\mu$  уравнения (4), а следовательно, и уравнения (28) следует исключить из рассмотрения, так как в этом не существует решения задачи 1.

3. Пусть теперь  $(\mathbf{E}, \mathbf{Q}) = 0$ ,  $\text{rot } \mathbf{E} = \mathbf{Q} \neq 0$  в области  $V$ . Тогда из соотношения (20) следует, что функция  $\xi$  является решением уравнения (19) тогда и только тогда, когда  $\xi$  удовлетворяет уравнению

$$(\text{grad } \xi, \mathbf{E})\mathbf{Q} = -\mathbf{E} \times \mathbf{R}. \quad (30)$$

Далее, из выражения (22), следует, что  $\mathbf{G} = 0$ , а так как  $(\mathbf{E}, \mathbf{Q}) = 0$ , то

$$(\mathbf{Q}, \mathbf{R})\mathbf{E} - (\mathbf{E}, \mathbf{Q})\mathbf{R} = (\mathbf{Q}, \mathbf{R})\mathbf{E} = 0.$$

Поскольку вектор  $\mathbf{E}$  не равен нулю в области  $V$ , то для выполнения последнего равенства необходимо и достаточно, чтобы  $(\mathbf{Q}, \mathbf{R}) = 0$ . Условия  $(\mathbf{E}, \mathbf{Q}) = 0$ ,  $(\mathbf{Q}, \mathbf{R}) = 0$ ,  $\text{rot } \mathbf{E} = \mathbf{Q} \neq 0$  равносильны второму условию утверждения 2.

Покажем, что при выполнении этих условий уравнение (30) имеет общее решение. Вспоминая, что  $\xi = \ln \mu$ , запишем уравнение (30) в координатной форме

$$\left( E_x \frac{\partial \mu}{\partial x} + E_y \frac{\partial \mu}{\partial y} + E_z \frac{\partial \mu}{\partial z} \right) Q_x = -\mu (E_y R_z - E_z R_y),$$



$$\left( E_x \frac{\partial \mu}{\partial x} + E_y \frac{\partial \mu}{\partial y} + E_z \frac{\partial \mu}{\partial z} \right) Q_y = -\mu (E_z R_x - E_x R_z), \quad (31)$$

$$\left( E_x \frac{\partial \mu}{\partial x} + E_y \frac{\partial \mu}{\partial y} + E_z \frac{\partial \mu}{\partial z} \right) Q_z = -\mu (E_x R_y - E_y R_x),$$

$$\text{где } \mathbf{E} = (E_x, E_y, E_z), \quad \mathbf{Q} = (Q_x, Q_y, Q_z), \\ \mathbf{R} = (R_x, R_y, R_z).$$

Так как вектор  $\mathbf{Q} \neq 0$ , а вектор  $\mathbf{G} = \mathbf{Q} \times (\mathbf{E} \times \mathbf{R})$  тождественно равен нулю в области  $V$ , то либо векторы  $\mathbf{Q}$  и  $\mathbf{E} \times \mathbf{R}$  являются коллинеарными векторами в этой области, если  $\mathbf{E} \times \mathbf{R} \neq 0$ , либо функция  $\mu$  есть решение уравнения

$$E_x \frac{\partial \mu}{\partial x} + E_y \frac{\partial \mu}{\partial y} + E_z \frac{\partial \mu}{\partial z} = 0, \quad (32)$$

если  $\mathbf{E} \times \mathbf{R} = 0$  в области  $V$ . Уравнение (32) является условием ортогональности вектора  $\mathbf{E}$  поверхностям уровня скалярного поля  $\mu$ .

В случае  $\mathbf{E} \times \mathbf{R} \neq 0$  векторы  $\mathbf{Q}$  и  $\mathbf{E} \times \mathbf{R}$  являются коллинеарными, поэтому не все уравнения системы (31) (в силу того, что  $\mathbf{Q} \neq 0$ ) обращаются в тождества, если соответствующие компоненты вектора  $\mathbf{Q}$  равны нулю, а оставшиеся уравнения совпадают. Например, если  $Q_x \neq 0$ , то система уравнений (31) эквивалентна одному линейному неоднородному уравнению в частных производных первого порядка:

$$E_x \frac{\partial \mu}{\partial x} + E_y \frac{\partial \mu}{\partial y} + E_z \frac{\partial \mu}{\partial z} = -\mu \frac{E_y R_z - E_z R_y}{Q_x}. \quad (33)$$

Общее решение такого уравнения существует [6] и может быть найдено с помощью соответствующей характеристической системы уравнений

$$\frac{dx}{E_x} = \frac{dy}{E_y} = \frac{dz}{E_z} = -\frac{Q_x d\mu}{(E_y R_z - E_z R_y) \mu}. \quad (34)$$

При этом общее решение уравнения (33) в неявной форме имеет вид

$$\Phi(\eta_1, \eta_2, \eta_3) = 0, \quad (35)$$

где  $\Phi(\eta_1, \eta_2, \eta_3)$  – произвольная непрерывно дифференцируемая функция;  $C_1 = \eta_1(x, y, z, \mu, i\omega)$ ,  $C_2 = \eta_2(x, y, z, \mu, i\omega)$ ,  $C_3 = \eta_3(x, y, z, \mu, i\omega)$  – независимые первые интегралы характеристической системы (34). Уравнение (35) в силу независимости функций  $\eta_1, \eta_2, \eta_3$  всегда разрешимо относительно неизвестной функции  $\mu$ . Определив из уравнения (35) функцию  $\mu$ , находим с помощью формул (7) и (8) оставшиеся неизвестные  $\mathbf{H}$  и  $\sigma$ .

Если же  $\mathbf{E} \times \mathbf{R} = 0$  в области  $V$ , то, как известно [6], общее решение уравнения (32), так же как и в предыдущем случае, существует. Для его

нахождения можно, например, составить характеристическое уравнение

$$\frac{dx}{E_x} = \frac{dy}{E_y} = \frac{dz}{E_z} \quad (36)$$

и найти его независимые первые интегралы  $C_1 = \zeta_1(x, y, z, i\omega)$ ,  $C_2 = \zeta_2(x, y, z, i\omega)$ . Тогда общий интеграл уравнения (32) примет вид

$$\mu = \Phi_1(\zeta_1(x, y, z, i\omega), \zeta_2(x, y, z, i\omega)), \quad (37)$$

где  $\Phi_1(\zeta_1, \zeta_2)$  – произвольная непрерывно дифференцируемая функция. Очевидно, что в этом семействе решений содержится также решение

$$\mu = \mu_0(i\omega).$$

Подставляя теперь  $\mu$  и  $\mathbf{E}$  в формулы (7) и (8), не трудно найти функции  $\sigma$  и  $\mathbf{H}$ . Достаточность второго условия утверждения 2 доказана.

*Замечание к утверждению 2.* Как следует из доказательства этого утверждения, задача 1 для заданного вектора  $\mathbf{E} \in C_E$ , подчиняющегося условиям  $(\mathbf{E}, \text{rot } \mathbf{E}) \neq 0$ ,  $(\text{rot } \mathbf{E}, \text{rot rot } \mathbf{E}) \neq 0$ , имеет решение  $\mu = \mu_0(i\omega)$  тогда и только тогда, когда  $\mathbf{F}^E \equiv 0$  в области  $V$ . В свою очередь, при тех же условиях для выполнения условия  $\mathbf{F}^E \equiv 0$  необходимо и достаточно, чтобы вектор  $\mathbf{E}$  удовлетворял в области  $V$  нелинейному дифференциальному уравнению

$$\mathbf{E} \times \text{rot rot } \mathbf{E} = 0. \quad (38)$$

Действительно, пусть  $\mathbf{E}$  – решение данного уравнения. Тогда в области  $V$  справедливо тождество  $\mathbf{E} \times \mathbf{R} = \mathbf{E} \times \text{rot rot } \mathbf{E} \equiv 0$ . Применяя формулу (23), выражение для вектора  $\mathbf{F}^E$  можно записать в виде

$$\mathbf{F}^E = \frac{1}{(\mathbf{Q}, \mathbf{R})} \text{div} \left[ \frac{\mathbf{Q} \times (\mathbf{E} \times \mathbf{R})}{(\mathbf{E}, \mathbf{Q})} \right] \mathbf{Q} + \frac{1}{(\mathbf{E}, \mathbf{Q})} (\mathbf{E} \times \mathbf{R}).$$

Подставляя в это выражение  $\mathbf{E} \times \mathbf{R} \equiv 0$ , получаем  $\mathbf{F}^E \equiv 0$ .

Обратно, если  $\mathbf{F}^E \equiv 0$ , то

$$\frac{1}{(\mathbf{Q}, \mathbf{R})} \text{div} \left[ \frac{\mathbf{Q} \times (\mathbf{E} \times \mathbf{R})}{(\mathbf{E}, \mathbf{Q})} \right] \mathbf{Q} \equiv -\frac{1}{(\mathbf{E}, \mathbf{Q})} (\mathbf{E} \times \mathbf{R}). \quad (39)$$

Если предположить, что  $\mathbf{E} \times \mathbf{R} \neq 0$ , то обе части тождества (38) отличны от нуля, следовательно,  $\mathbf{Q}$  и  $\mathbf{E} \times \mathbf{R}$  – коллинеарные векторы. Но тогда  $\mathbf{Q} \times (\mathbf{E} \times \mathbf{R}) \equiv 0$ , и, применяя формулу (23), имеем  $\mathbf{R} \equiv \frac{(\mathbf{Q}, \mathbf{R})}{(\mathbf{E}, \mathbf{Q})} \mathbf{E}$ . Отсюда  $\mathbf{E} \times \mathbf{R} \equiv 0$ , что противоречит предположению. Следовательно,  $\mathbf{F}^E \equiv 0$  тогда и только тогда, когда вектор  $\mathbf{E}$  удовлетворяет в области  $V$  уравнению (38).

Если же  $(\mathbf{E}, \text{rot } \mathbf{E}) = 0$ ,  $(\text{rot } \mathbf{E}, \text{rot rot } \mathbf{E}) = 0$ ,



$\text{rot } \mathbf{E} \neq 0$ , то для существования решения  $\mu = \mu_0(i\omega)$ , как следует из соотношений (13) и (31), необходимо и достаточно, чтобы заданный вектор  $\mathbf{E}$  удовлетворял уравнению (38). Таким образом, утверждение 2 не противоречит следствию из утверждения 1.

Пусть теперь в области  $V$  произвольно задан вектор  $\mathbf{H} \in C_H$  и  $\omega \neq 0$ .

3. Решение задачи 1 для заданного вектора  $\mathbf{H} \in C_H$  существует тогда и только тогда, когда всюду области  $V$  вектор  $\mathbf{H}$  удовлетворяет одному из следующих двух условий:

1)

$$\text{rot} \left\{ \frac{1}{(\text{rot } \mathbf{H}, \text{rot rot } \mathbf{H})} \text{div} \left[ \frac{(\text{rot } \mathbf{H}, \text{rot rot } \mathbf{H})}{(\mathbf{H}, \text{rot } \mathbf{H})} \mathbf{H} \right] \times \right. \\ \left. \times \text{rot } \mathbf{H} + \frac{1}{(\mathbf{H}, \text{rot } \mathbf{H})} (\mathbf{H} \times \text{rot rot } \mathbf{H}) \right\} = 0;$$

$$(\mathbf{H}, \text{rot } \mathbf{H}) \neq 0, (\text{rot } \mathbf{H}, \text{rot rot } \mathbf{H}) \neq 0;$$

2)  $(\mathbf{H}, \text{rot } \mathbf{H}) = 0, (\text{rot } \mathbf{H}, \text{rot rot } \mathbf{H}) = 0,$   
 $\text{rot } \mathbf{H} \neq 0.$

Формулировка и доказательство этого утверждения следуют из утверждений 1 и 2, а также из симметрии уравнений (1) и (2) относительно формальной замены  $\mathbf{E} \leftrightarrow \mathbf{H}, i\omega\mu \leftrightarrow \sigma$ , называемой принципом перестановочной двойственности [7].

Очевидно, что векторы  $\mathbf{E} \in W$  и  $\mathbf{H} \in W$ , являющиеся в области  $V$  решениями системы однородных уравнений Максвелла (1) и (2), удовлетворяют одновременно в этой области либо первым условиям утверждений 2 и 3, либо вторым. Отсюда следует, что множество всех частных решений  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$  однородных уравнений Максвелла (1) и (2) с различными гладкими материальными параметрами  $\sigma$  и  $\mu$  разбивается на два подкласса. К первому подклассу относится множество векторов  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$ , удовлетворяющих первым условиям утверждений 2 и 3, а ко второму подклассу – множество векторов  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$ , удовлетворяющих вторым условиям этих утверждений. Первому подклассу принадлежит множество решений уравнений (1) и (2) с неортогональными векторами  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$ . Второй подкласс решений – вырожденный и соответствует частному случаю ортогональных векторов  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$ .

Изложенные свойства электромагнитных полей являются локальными, и они не выполняются для всего евклидова пространства  $R^3$ . Они применимы лишь для непрерывно дифферен-

цируемых параметров среды  $\sigma$  и  $\mu$ , а также при условии отсутствия в области  $V \subset R^3$  сторонних электрических и магнитных токов. В случае неограниченной области  $V$  условия утверждений 2 и 3 следует усилить требованием достаточно быстрого убывания векторов  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$  на бесконечности.

Вместе с тем, данные свойства, как будет показано далее, могут оказаться полезными для нахождения аналитических решений однородных уравнений Максвелла и постановки обратных задач электроразведки.

### 3. Нахождение аналитических решений уравнений Максвелла

Метод нахождения аналитических решений однородных уравнений Максвелла рассмотрим только на примере задания вектора  $\mathbf{E}$ . Применяя принцип перестановочной двойственности, легко получить аналогичные результаты для заданного вектора  $\mathbf{H}$ .

Пусть вектор  $\mathbf{E}$  принадлежит множеству  $C_E$  и задан в области  $V$  аналитическим выражением. Алгоритм нахождения аналитического решения уравнений Максвелла сводится к следующим этапам.

1. Если заданный вектор  $\mathbf{E}$  не удовлетворяет первому или второму условию утверждения 2, то этот вектор не принадлежит подмножеству  $W_E$ , т. е. не существует скалярных функций  $\mu, \sigma$  и векторного поля  $\mathbf{H}$ , которые вместе с заданным векторным полем  $\mathbf{E}$  обращали уравнений (1) и (2) в тождества. Для такого вектора  $\mathbf{E}$  невозможно найти решение уравнений (1) и (2).

2. Вектор  $\mathbf{E}$  удовлетворяет первому условию утверждения 2. Тогда по формулам (27), (7) и (8) несложно найти магнитную проницаемость  $\mu$ , проводимость  $\sigma$  и напряженность  $\mathbf{H}$  магнитного поля. В этом случае набор  $\{\mathbf{E}, \mathbf{H}, \sigma, \mu\}$  будет представлен аналитическими выражениями и обращает уравнения (1) и (2) в тождества. Следовательно, векторы  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$  являются аналитическими решениями уравнений Максвелла для найденных параметров среды  $\mu$  и  $\sigma$ .

3. Вектор  $\mathbf{E}$  подчиняется второму условию утверждения 2. Если при этом  $\mathbf{E} \times \text{rot rot } \mathbf{E} \neq 0$ , то магнитная проницаемость  $\mu$  находится как решение того уравнения системы (31), для которого одна из компонент  $Q_x, Q_y$  или  $Q_z$  вектора  $\mathbf{Q} = \text{rot } \mathbf{E}$  отлична от нуля. Если же  $\mathbf{E} \times \text{rot rot } \mathbf{E} = 0$ , то  $\mu$  определяется из уравнения (32). В обоих случаях решение  $\mu$  может быть найдено с помощью ха-



рактеристических уравнений, после чего проводимость  $\sigma$  и напряженность  $\mathbf{H}$  магнитного поля находятся из соотношений (7) и (8).

Рассмотрим один частный случай этого алгоритма. Пусть теперь в области  $V$  аналитическим выражением не только задан вектор  $\mathbf{E} \in C_E$ , но и известна независящая от координат магнитная проницаемость  $\mu = \mu_0$ . Тогда для отыскания аналитических решений однородных уравнений Максвелла можно воспользоваться следствием к утверждению 1. Заметим только, что если вектор  $\mathbf{E} \in C_E$  является решением уравнения (9) и при этом  $\text{rot rot } \mathbf{E} \neq 0$ , то это возможно лишь в двух случаях:

$$1) (\mathbf{E}, \text{rot } \mathbf{E}) \neq 0, (\text{rot } \mathbf{E}, \text{rot rot } \mathbf{E}) \neq 0;$$

$$2) (\mathbf{E}, \text{rot } \mathbf{E}) = 0, (\text{rot } \mathbf{E}, \text{rot rot } \mathbf{E}) = 0, \text{rot } \mathbf{E} \neq 0.$$

В самом деле, для любого вектора  $\mathbf{E} \in C_E$ , как следует из (15), справедливо тождество

$$\text{rot } \mathbf{E} \times (\mathbf{E} \times \text{rot rot } \mathbf{E}) \equiv (\text{rot } \mathbf{E}, \text{rot rot } \mathbf{E}) \mathbf{E} - (\mathbf{E}, \text{rot } \mathbf{E}) \text{rot rot } \mathbf{E}.$$

Вместе с тем, если  $\mathbf{E}$  – решение уравнения (9), то

$$\mathbf{E} \times \text{rot rot } \mathbf{E} \equiv 0,$$

$$(\text{rot } \mathbf{E}, \text{rot rot } \mathbf{E}) \mathbf{E} \equiv (\mathbf{E}, \text{rot } \mathbf{E}) \text{rot rot } \mathbf{E}.$$

Поскольку  $\text{rot rot } \mathbf{E} \neq 0$ , то  $\mathbf{E} \neq 0$ ,  $\text{rot } \mathbf{E} \neq 0$ , и из последнего тождества следует, что должно выполняться одно из двух: либо  $(\mathbf{E}, \text{rot } \mathbf{E}) \neq 0$ ,  $(\text{rot } \mathbf{E}, \text{rot rot } \mathbf{E}) \neq 0$ , либо  $(\mathbf{E}, \text{rot } \mathbf{E}) = 0$ ,  $(\text{rot } \mathbf{E}, \text{rot rot } \mathbf{E}) = 0$ ,  $\text{rot } \mathbf{E} \neq 0$ .

Таким образом, в случае заданных  $\mathbf{E}$  и  $\mu = \mu_0$  аналитические решения уравнений Максвелла находятся по следующей схеме:

1. Проверяется условие  $\mathbf{E} \times \text{rot rot } \mathbf{E} = 0$ . Если оно не выполняется, то для заданных  $\mathbf{E}$  и  $\mu = \mu_0$  не существует скалярной функции  $\sigma$  и вектора  $\mathbf{H}$  таких, что набор  $\{\mathbf{E}, \mathbf{H}, \sigma, \mu_0\}$  обращает в тождества уравнения (1) и (2).

2. Если вектор  $\mathbf{E}$  является решением уравнения  $\mathbf{E} \times \text{rot rot } \mathbf{E} = 0$ , то из соотношений (10) определяются проводимость  $\sigma$  и напряженность  $\mathbf{H}$ . Полученный набор функций  $\{\mathbf{E}, \mathbf{H}, \sigma, \mu\}$  обращает уравнения (1) и (2) в тождества и, тем самым, определяет аналитическое решение однородных уравнений Максвелла.

Различные применения изложенного алгоритма рассмотрены в работах [8–10].

#### 4. Постановка обратной задачи электроразведки

Пусть область  $V = \{M(x, y, z) \in R^3 \mid z > 0\}$  (земля) заполнена изотропной немагнитной средой ( $\mu = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ ) с неизвестной частотно-дисперсной проводимостью  $\sigma = \sigma(x, y, z, i\omega)$ . Такой выбор магнитной проницаемости обусловлен тем, что решение обратной задачи электроразведки о нахождении проводимости среды с неизвестной магнитной проницаемостью не единственно [11], а также тем, что немагнитными свойствами обладает подавляющее большинство горных пород. Кроме того, будем считать, что возбуждающие электромагнитное поле сторонние токи расположены в области  $R^3 \setminus V = \{M(x, y, z) \in R^3 \mid z \leq 0\}$ , и исключим из рассмотрения поверхностные сторонние токи на поверхности земли  $z = 0$ . В этом случае, как было показано в настоящей работе, напряженность  $\mathbf{E}$  электрического поля в области  $V$  удовлетворяет уравнению (9)

$$\mathbf{E} \times \text{rot rot } \mathbf{E} = 0. \quad (40)$$

Пусть неизвестный параметр  $\sigma = \sigma(x, y, z, i\omega)$  удовлетворяет условиям

$$\begin{aligned} \sigma(M, i\omega) \neq 0, \text{Re } \sigma(M, i\omega) \geq 0, \\ \sigma(M, i\omega) \in C^{k-1}(V), k \geq 3. \end{aligned} \quad (41)$$

Второе из них есть условие физической реализуемости [12], а третье – условие гладкости проводимости.

Предположим, что на поверхности земли  $z = +0$

$$\begin{aligned} \sigma = \sigma^0(x, y, +0, i\omega), \mathbf{E} = \mathbf{E}^0(x, y, +0, i\omega), \\ \mathbf{H} = \mathbf{H}^0(x, y, +0, i\omega), \end{aligned} \quad (42)$$

где  $\sigma^0(x, y, +0, i\omega)$ ,  $\mathbf{E}^0(x, y, +0, i\omega) = (E_x^0, E_y^0, E_z^0)$ ,  $\mathbf{H}^0(x, y, +0, i\omega) = (H_x^0, H_y^0, H_z^0)$  – известные функции. Если  $E_z^0 \neq 0$ , то условия (42) равносильны соотношениям

$$\begin{aligned} E_x = E_x^0(x, y, +0, i\omega), E_y = E_y^0(x, y, +0, i\omega), \\ E_z = E_z^0(x, y, +0, i\omega), \frac{\partial E_x}{\partial z} \Big|_{z=+0} = \varphi(x, y, +0, i\omega), \end{aligned} \quad (43)$$

$$\frac{\partial E_y}{\partial z} \Big|_{z=+0} = \psi(x, y, +0, i\omega),$$

а если  $E_z^0 = 0$ , то вместо (43) следует записать



$$\sigma = \sigma^0(x, y, +0, i\omega), \quad E_x = E_x^0(x, y, +0, i\omega),$$

$$E_y = E_y^0(x, y, +0, i\omega), \quad \left. \frac{\partial E_x}{\partial z} \right|_{z=+0} = \varphi(x, y, +0, i\omega) \quad (44)$$

$$\left. \frac{\partial E_y}{\partial z} \right|_{z=+0} = \psi(x, y, +0, i\omega),$$

где функции  $\varphi$  и  $\psi$  определяются из (42).

Необходимо также потребовать, чтобы

$$\lim_{z \rightarrow +\infty} \mathbf{E}(M, i\omega) = 0, \quad \lim_{z \rightarrow +\infty} \mathbf{H}(M, i\omega) = 0. \quad (45)$$

Тогда в соответствии с утверждениями 1 и 2 можно поставить следующую краевую обратную задачу.

**Задача 2.** Найти в области  $V$  решение  $\mathbf{E}$  уравнения (40), удовлетворяющее условиям (43), (45) при  $E_z^0 \neq 0$  или условиям (44), (45) в случае  $E_z^0 = 0$ .

После отыскания решения поставленной краевой задачи можно определить в области  $V$  искомую проводимость  $\sigma = \sigma(x, y, z, i\omega)$ , а также напряженность  $\mathbf{H} = \mathbf{H}(M, i\omega)$  магнитного поля по формулам (10).

Заметим, что если найденное из уравнений (1) и (2) и условий (42) и (45) решение  $\sigma = \sigma(x, y, z, i\omega)$  единственно, то решение краевой задачи 2 также единственно. Вместе с тем, в работе [13] приведен пример неоднозначности решение обратной задачи в случае частотно-дисперсной проводимости. Поэтому для нахождения единственного решения поставленной краевой задачи необходимо привлечь априорную информацию о законе частотной дисперсии проводимости. Если, например, известно, что  $\sigma$  не зависит от  $\omega$  (например, в случае квазистационарного приближения, широко применяемого в электроразведке), то можно воспользоваться методом [14], разработанным для обратной задачи акустики. В самом деле, так как проводимость  $\sigma$ , определяемая формулой (10), не зависит от круговой частоты  $\omega$ , то

$$\frac{\partial}{\partial \omega} \left[ \frac{1}{\omega \mathbf{E}^2} (\mathbf{E}, \text{rot rot } \mathbf{E}) \right] = 0. \quad (46)$$

Следовательно, в данном случае краевая обратная задача сводится к отысканию решения  $\mathbf{E}$  в области  $V$ , удовлетворяющего уравнениям (40), (46), а также условиям (43), (45) при  $E_z^0 \neq 0$  или условиям (44), (45) в случае  $E_z^0 = 0$ .

Полученный результат показывает возмож-

ность редукиции обратных задач электроразведки к решению нелинейных краевых задач, что открывает новые возможности для продолжения электромагнитного поля с дневной поверхности вглубь земли.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (№ проекта 10-05-00753-а).*

#### Библиографический список

1. Фелсен Л., Маркувиц Н. Излучение и рассеяние волн : в 2 т. М., 1978. Т. 1. 547 с. ; Т. 2. 555 с.
2. Жданов М. С. Продолжение нестационарных электромагнитных полей в задачах геоэлектрики // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1981. № 12. С. 60–69.
3. Жданов М. С., Френкель М. А. Метод электромагнитной миграции при решении обратных задач в геоэлектрике // ДАН СССР. 1983б. Т. 271, № 3. С. 589–594.
4. Жданов М. С., Спичак В. В. Интегралы типа Стрэттона-Чу для неоднородных сред и некоторые их приложения к задачам геоэлектрики // Математическое моделирование электромагнитных полей. М., 1983. С. 4–25
5. Кочин Н. Е. Векторное исчисление и начала тензорного исчисления. М., 1965. 424 с.
6. Эльсгольц Л. Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. М., 1969. 424 с.
7. Гольдштейн Л. Д., Зернов Н. В. Электромагнитные поля и волны. М., 1971. 664 с.
8. Губатенко В. П. Нахождение аналитических решений задач геоэлектрики на основе решения обратной задачи // Недра Поволжья и Прикаспия. 2011. Вып. 67. С. 34–46.
9. Губатенко В. П., Московский И. Г. Аналитические решения трехмерных задач геоэлектрики // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2012. Т. 12, вып. 2. С. 62–68.
10. Московский И. Г., Губатенко В. П. Некоторые примеры аналитических решений трехмерных задач геоэлектрики для монохроматического электромагнитного поля // Недра Поволжья и Прикаспия. 2013. Вып. 74. С. 66–71.
11. Губатенко В. П. Обобщенные функции с приложениями в теории электромагнитного поля : учеб. пособие. Саратов, 2001. 138 с.
12. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред. М., 1982. 620 с.
13. Gubatenko V. P. On the formulation of inverse problem in electrical prospecting // Inverse Problems and Large-Scale Computations. Springer Proceedings in Mathematics & Statistics. 52 / eds. L. Beilina, Yu. V. Shestopalov. N.Y., 2013. P. 21–28.
14. Beilina L. and Klivanov M. V. A globally convergent numerical method for a coefficient inverse problem // SIAM J. Sci. Comp. 2008. Vol. 31. P. 478–509.



УДК (553.74) 575.13

## ОБОСНОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ СЕРОВОДОРОДНЫХ ВОД НА ВЫРАБОТАННЫХ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ (на примере Чимионской структуры)



М. Р. Жураев<sup>1</sup>, И. А. Агзамова<sup>2</sup>, Р. Э. Джурев<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Государственное предприятие «Институт гидрогеологии и инженерной геологии» Государственного комитета по геологии и минеральным ресурсам Республики Узбекистан, Ташкент  
E-mail: juraevm@inbox.ru

<sup>2</sup> Ташкентский государственный технический университет

<sup>3</sup> ГП «Ферганская гидрогеологическая экспедиция», Коканд  
E-mail: djuraevr@inbox.ru

В Ферганской долине на территории Республики Узбекистан много выработанных нефтеносных месторождений, где были отмечены проявления сероводородных термальных вод. По материалам нефтеразведки и отдельных опробований на межпластовую воду были установлены зависимости между гидрохимическими и геофизическими параметрами, области разгрузки в разломах, околонуны наиболее перспективные участки скопления сероводородных вод повышенной концентрации, определено их место в структурах Чимион и Кашкаркыр.

**Ключевые слова:** физико-геологическая модель, кажущиеся сопротивления, вызванная поляризация, коллекторские свойства, сероводородные воды.

### Justification of Prospects Sulfurous Waters in Depleted oil Fields (for Example Chimions Structure)

M. R. Juraev, I. A. Agzamova, R. E. Djuraev

On the territory of the Republic, in the Ferghana valley are depleted oil fields, where it was noted the manifestation of hydrogen sulfide, thermal waters. Based on materials from oil exploration and individual hands-on mizhplastovi water were established relationship between hydrochemical and geophysical parameters, the unloading area in faults; delineated the most promising areas of accumulation of hydrogen sulfide waters, increased concentration, determined by their place in the structures Chimion-Kashkarkyr.

**Key words:** physical and geological model, the apparent resistivity, induced polarization, reservoir properties, hydrogen sulfide water.

### Введение

В санаторно-курортном комплексе Чимион наблюдается нехватка лечебной сероводородной воды, поэтому для пополнения ресурсов необходимо провести разведку сероводородных и других типов минеральных вод с использованием наиболее оптимальных комплексных геофизических методов.

Месторождение расположено на южной ступени Ферганской впадины Чимион-Аувальской антиклинальной зоны. Чимион-Аувальская антиклиналь совпадает со структурой старого не-

фтяного месторождения, где нефть извлекается с V горизонта туркестанского яруса, относящегося к палеогеновым отложениям присводового и северного крыла складки (рис. 1).

Эксплуатация Чимионского нефтяного месторождения была начата в 1900 г. Первоначально нефть фонтанировала из скважин. По мере сработки напором фонтанный метод эксплуатации сменился насосным, с привлечением законтурных вод. Как отмечает Б. А. Бедер (1954г.), бурение в Чимионе осуществлялось без необходимой изоляции водоносных пластов и зон тектонических нарушений, поэтому не исключалась возможность сообщения различных горизонтов на отдельных участках. В 1949 г. ВКЗ СССР на Чимионском месторождении утверждены запасы остаточной нефти (50 тыс. т по категории А<sub>1</sub> и В). К настоящему времени из месторождения извлечено около 20 тыс. т нефти [1, 2].

*История изучения минеральных вод района.* С 1963 по 1969 г. проведены разведочные работы на бухаро-алайском водоносном комплексе палеогена в восточной части месторождения (район нефтяной скв. 193) для получения сероводородной воды без примеси нефти и создания гидроминеральной базы проектируемого санаторно-курортного комплекса Чимион.

В 1969 г., по данным длительных опытных выпусков из скв. III и I, каптирующих сероводородные воды бухаро-алайского водоносного комплекса (скв. III – в осевой части антиклинали, скв. I – на северном, погруженном, ее крыле), утверждены эксплуатационные запасы (протокол ГКЗ № 5791 от 17 октября 1969 г.) по промышленной категории в следующих количествах: крепкие сероводородные воды средней минерализации (М 7,6–7,9 г/л) с содержанием H<sub>2</sub>S = 180–200 мг/л, выведенные скв. III, – 138,2 м<sup>3</sup>/сут; крепкие сероводородные рассолы (М 74–97 г/л) с содержанием H<sub>2</sub>S = 300–330 мг/л, выведенные скв. I, – 15,5 м<sup>3</sup>/сут.

На основании месячной опытной откачки утверждены запасы по категории С<sub>1</sub> крепких сероводородных вод малой минерализации (4,7–5,1 г/л) с содержанием H<sub>2</sub>S = 230–250 мг/л по скв. V – 112,3 м<sup>3</sup>/сут. Ранее утвержденные запасы алайского горизонта в полном объеме (650 м<sup>3</sup>/сут) были исключены из баланса.

Пробурены 7 разведочных и 4 разведочно-эксплуатационные скважины. По бухаро-алайскому комплексу запасы категории С<sub>1</sub> (112,3 м<sup>3</sup>/сут) переведены в категорию А с доведением общего объема до 266 м<sup>3</sup>/сут (протокол ГКЗ № 101-76 от

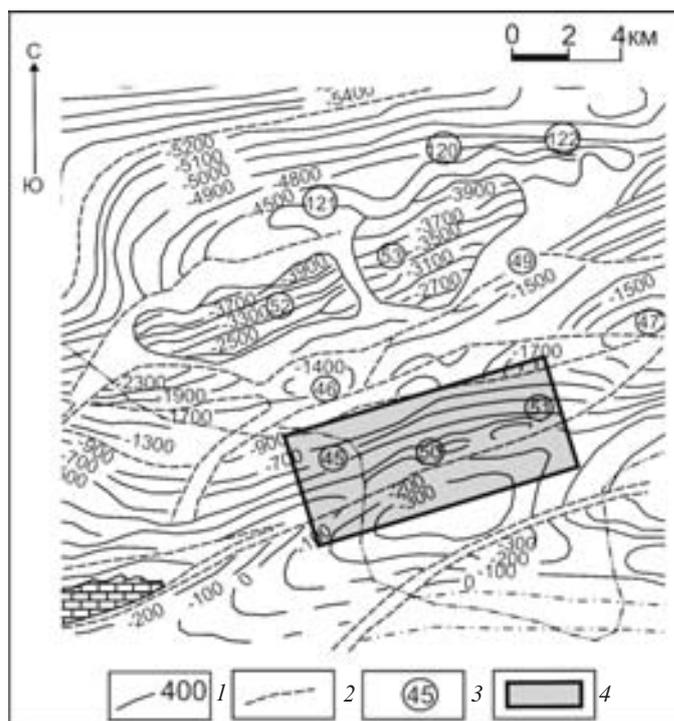


Рис. 1. Структурная карта по кровле известняков туркестанских слоев палеогена Ферганской впадины (юго-западная часть): 1 – изогипсы по кровле V пласта; 2 – разрывные нарушения; 3 – номер локальных структур: 45 – Чимион, 50 – Гулькуча, 51 – Кашкаркыр; 4 – участок работ

6 мая 1987 г.). Изменен режим разработки месторождения из расчета получения утвержденных запасов при неустановившемся режиме и переходе на насосную эксплуатацию [3, 4].

#### Предпосылки для формирования сероводородных вод в структуре

Проблема происхождения сероводорода в подземной гидро- и литосфере привлекает внимание многих исследователей. Закономерная связь распространения сероводородных вод с сульфатсодержащими и нефтегазоносными осадочными комплексами определяет главные поисковые критерии на сероводородные воды и выделение перспективных областей. Среди природных факторов и условий решающее значение в процессе формирования сероводородных вод имеют: 1) литолого-фациальный состав водовмещающих пород (прежде всего, наличие сульфатсодержащих отложений) и нефтегазоносность осадочной толщи; 2) геоструктурные условия; 3) гидрогеохимическая обстановка; 4) гидродинамические и геотермические условия [5].

Рассмотрим специфические природные геологические факторы Чимионского нефтегазонасного месторождения:

– *литолого-фациальный состав водовмещающих пород.* Туркестанский и бухаро-алайские

водоносные горизонты состоят в основном из трещиноватых, доломитизированных известняков. Водовмещающие породы являются карбонатными отложениями, пласты – нефтеносными.

– *геоструктурные условия.* Структура Чимион расположена в предгорном районе. Область питания подземных вод с северного склона Туркестанского хребта. Расстояние между областью питания и структурой составляет 20 км. Продольные нарушения проходят по структуре. За счет тектонического нарушения северные части взброшены и надвинуты на южную часть структуры. Амплитуда смещения слоя достигает 400-500 м (рис. 1, 2).

– *гидродинамические условия.* За счет смещения слоя структуры пластовые воды с юга становятся водонапорными;

– *гидрогеохимическая обстановка.* Вследствие гидродинамических процессов снизу (с палеозоя) поднимается сульфатная вода. В нефтяном пласте с участием органических веществ происходит окислительно-восстановительная реакция с углеводородом и формируются сероводородные воды структуры.

Наблюдаются специфические природные геологические факторы, формирующие сероводородные воды, и подтверждается возможность их формирования в антиклинальной структуре.

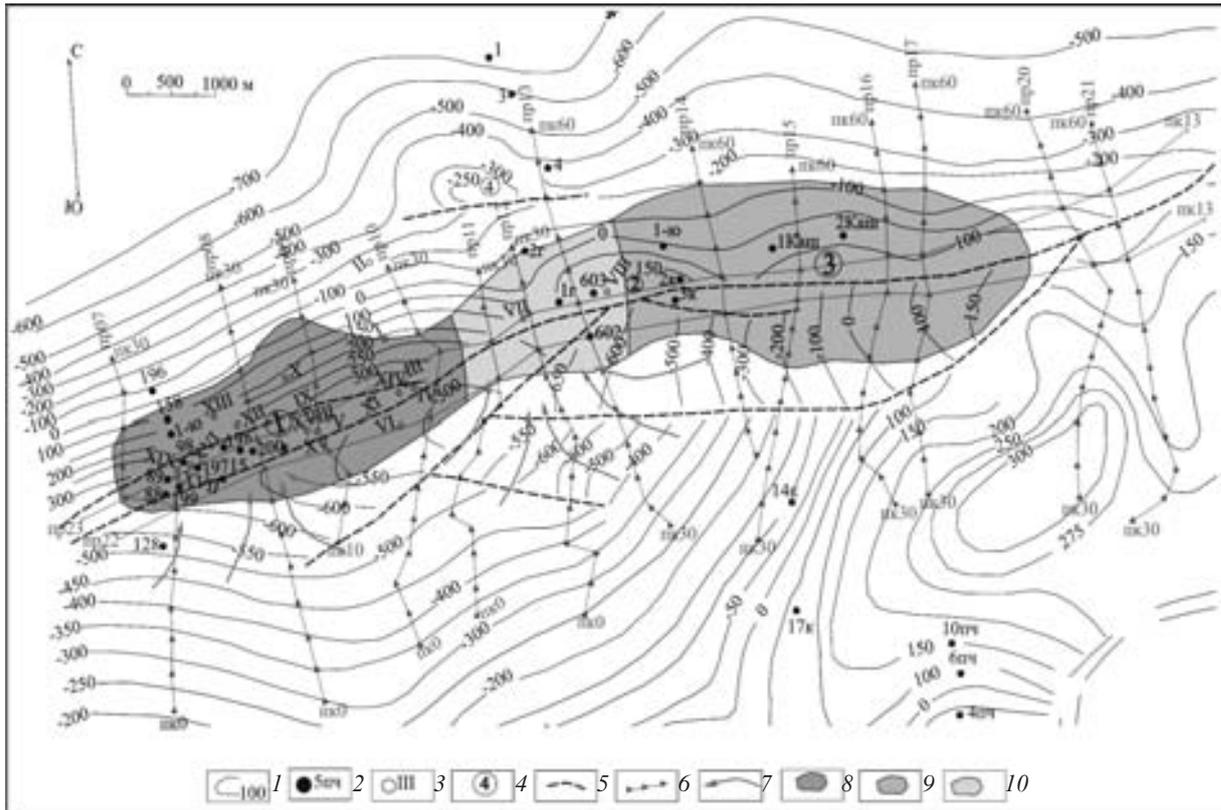


Рис. 2. Структурная карта с элементами распространения сероводородных вод по концентрации на площадях Чимион и Кашкаркыр: 1 – изогипсы опорного отражающего горизонта  $P_2$ ; 2 – скважина глубокого бурения; 3 – гидрогеологическая скважина; 4 – локальные структуры: 1 – Чимион, 2 – Гулькуча, 3 – Кашкаркыр; 5 – тектонические нарушения; 6 – профиль ВЭЗ-ВП; 7 – направление потока подземных вод по кровле туркестанского горизонта. Контур распространения сероводородных вод по концентрации (мг/л): 8 – очень крепкосероводородные (более 250), 9 – крепкосероводородные (100–250), 10 – слабо- и среднесероводородные (10–50, 50–100)

### Обоснование перспективных площадей сероводородных вод

#### Результаты сейсморазведочных исследований

Глубинное строение Чимионской антиклинали отличается большой сложностью. Это обусловлено тем, что присводовая часть складки осложнена крупным продольным тектоническим нарушением типа взброса-надвига, по которому северное крыло взброшено и надвинуто на южное. За счет продольных тектонических нарушений в структуре происходят гидродинамические процессы, т. е. разгрузка подземных вод (см. рис. 2).

На основе структурной карты по опорному отражающему туркестанскому горизонту выявлено направление по структурам потока подземных вод, просачивающихся из Туркестанского хребта. Первый поток направляется в сводовую часть структуры Чимион, второй – на место примыкания структур Чимион и Кашкаркыр, третий – в западную часть Кашкаркыра, где расположены скв. 1Г и VIII (см. рис. 2).

#### Результаты электроразведочных работ

Разрезы кажущегося сопротивления характеризуют залегание пород с различными геоэлектрическими показателями. Так, на профиле 07 южная часть разреза характеризуется спокойными наклонными изоомами с понижением сопротивления к центру профиля. В его северной части зафиксированы изоомы вертикальной конфигурации, характерной для тектонических нарушений. На последующих профилях эти закономерности сохраняются, т. е. вертикальные изоомы на разломах и горизонтальные или наклонные при спокойном залегании пород. По разрезам КС протрассирован региональный разлом и выделены локальные разломы на южной стороне изучаемого участка.

Разрезы вызванной поляризации и общий фон по разрезам 1,4–1,5%. Миграция углеводородов с примесью серы по региональному разлому привела к образованию сероводородных подземных вод, приуроченных к прилегающим к нему участкам [6]. На разрезах ВП значения  $\eta_k$  увеличиваются до 3–5% над перспективными участками профилей, характеризующих наличие сероводородных вод (рис. 3). На

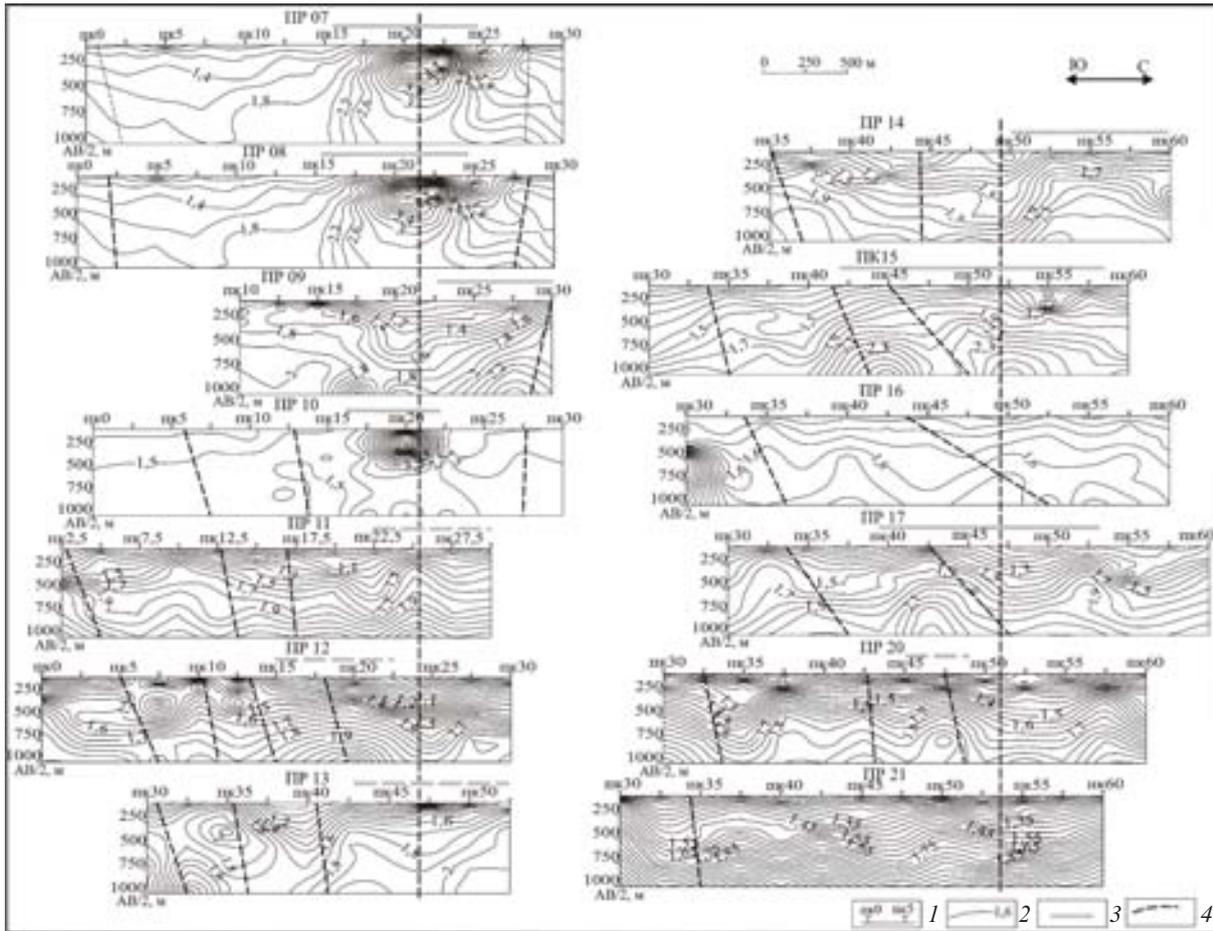


Рис. 3. Разрезы поляризуемости. Площади Чимион и Кашкаркыр: 1 – точки ВЭЗ-ВП; 2 – изолинии поляризуемости; 3 – зоны повышенной аномальной поляризуемости; 4 – тектонические нарушения

структурах Чимион и Кашкаркыр по повышенным значениям поляризации оконтурена перспективная зона сероводородной воды. Между структурами Чимион и Кашкаркыр на профилях 11, 12, 13 вероятность наличия сероводородной воды минимальна, но и здесь наблюдаются небольшие аномалии  $\eta_k$ . Выявленные аномальные зоны разделены на 3 группы по степени поляризуемости: сильноаномальная ( $\eta_k = 3-5\%$ ) – структура Чимион; среднеаномальная ( $\eta_k = 2-3\%$ ) – структура Кашкаркыр; слабоаномальная ( $\eta_k = 1,6-2,1\%$ ) – зона примыкания структур Чимион и Кашкаркыр.

Результаты сопоставления разрезов поляризуемости и кажущегося сопротивления. При формировании сероводородной воды основным фактором считаются тектонические нарушения. По ним размещались профили поляризуемости. Проанализировав местоположение выявленного нарушения и совместив его с результатом интерпретации поляризуемости и удельного сопротивления, установлено: в пределах нарушений по всей толще разреза наблюдается повышение коэффициента поляризации и сопротивлений. Следовательно, в южной части структуры наблюдается интенсивная циркуляция воды, и по этим

показателям фиксируется область формирования сероводородных вод на площадях Чимион и Кашкаркыр (см. рис. 3).

Зависимость между концентрацией сероводородной воды и зоной повышенной, аномальной, поляризуемости. На структурах Чимион и Кашкаркыр пробурены 19 гидрогеологических скважин, в которых выявлены сероводородные воды разной концентрации. На основе полученных данных составлена зависимость между поляризуемостью и концентрацией сероводородных вод. Составлен график зависимости  $\eta_k = f(H_2S)$  (рис. 4), на нем видно, что при повышении степени поляризуемости концентрация сероводорода увеличивается.

Сероводородные воды разделяют на 4 группы по классификации подземных минеральных вод [6]. С помощью выявленной зависимости  $\eta_k = f(H_2S)$  можно определить предел степени повышения поляризации:

- слабосероводородные (10–50 мг/л) – 1,5–1,6%;
- среднесероводородные (50–100 мг/л) – 1,6–1,7%;
- крепкосероводородные (100–250 мг/л) – 1,7–2,7%;



очень крепкосероводородные (более 250 мг/л) – 2,7–3,5%.

На основе полученных результатов составлена карта распространения сероводородных вод по концентрации (см. рис. 2), а также выявлены их контуры: очень крепкосероводородные (структура Чимион), крепкосероводородные (структура Кашкаркыр), слабо- и среднесероводородные (примыкание структур Чимион и Кашкаркыр).

**Изучение зависимости между гидрогеологическими и геофизическими параметрами для выявления месторождений сероводородных вод в пределах структур Чимион и Кашкаркыр**

Изучив коллекторские свойства бухаро-алайского водоносного горизонта, мы проанализировали зависимость между геофизическими ( $\rho_k$  – кажущееся сопротивление) и гидрогеологическими ( $M$  – минерализация,  $K_\phi$  – коэффициент фильтрации) параметрами в опробованных интервалах (рис. 5) [8, 9].

Составив зависимость электрических свойств от фильтрационных, определили фильтрационные свойства пород и минерализацию пластовых вод, а также составили схематические геолого-гидрогеологические разрезы с использованием геофизических данных нефтяных и гидрогеологических скважин.

**Рекомендации по гидрогеологической интерпретации геолого-геофизических данных с целью поиска сероводородных вод**

Геофизические параметры и гидрогеологические показатели проанализированы на примере наиболее изученного Чимионского месторождения сероводородных вод.

Выявлено несколько зависимостей между геофизическими параметрами и гидрогеологическими показателями. На их основе составлена физико-геологическая модель (ФГМ) Чимионского месторождения сероводородных вод (рис. 5). Анализ проведен на примере про-

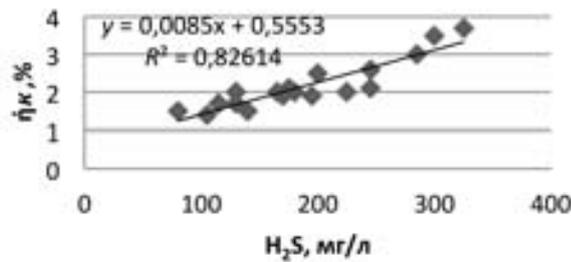
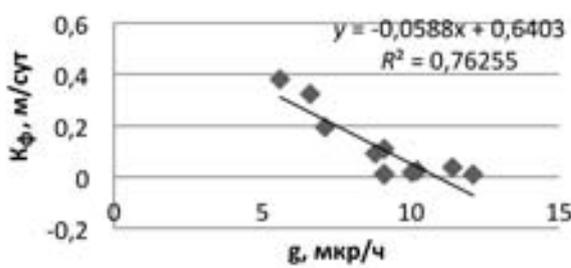
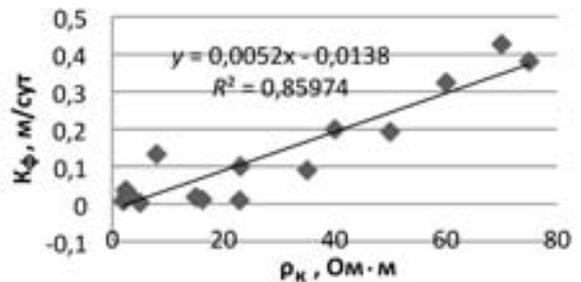


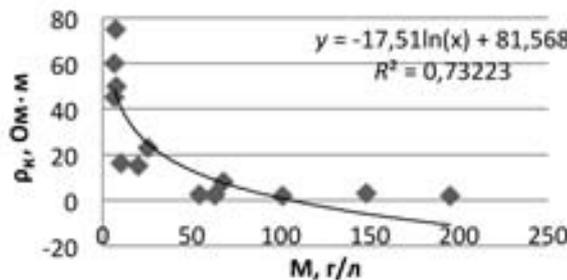
Рис. 4. Зависимость концентрации сероводородных вод от поляризации



а



б



в

Рис. 5. Зависимость величины гамма-излучения от коэффициента фильтрации (а); кажущегося сопротивления от фильтрационных свойств водовмещающей породы (б); кажущегося сопротивления от минерализации (в)



филя ВЭЗ-ВП-10, расположенного на структуре Чимион. Кажущееся сопротивление разреза ( $\rho_k$ ) обнаружило неоднородности изом в интервале пк12,5 – пк20, т. е. тектонические и локальные нарушения (рис. 5, *a*). Общий фон поляризуемости разреза ( $\eta_k$ ) 1,4–1,5%. Степень поляризации в

интервале пк17,5 – пк 22,5 повышена на 3,5–5,3%. Следовательно, на этом интервале пикетов формируются сероводородные воды, что подтверждают данные гидрогеологических (VI, IV, III, I, II) скважин, представленных на профилях (рис. 6, *б*, *в*, таблица).

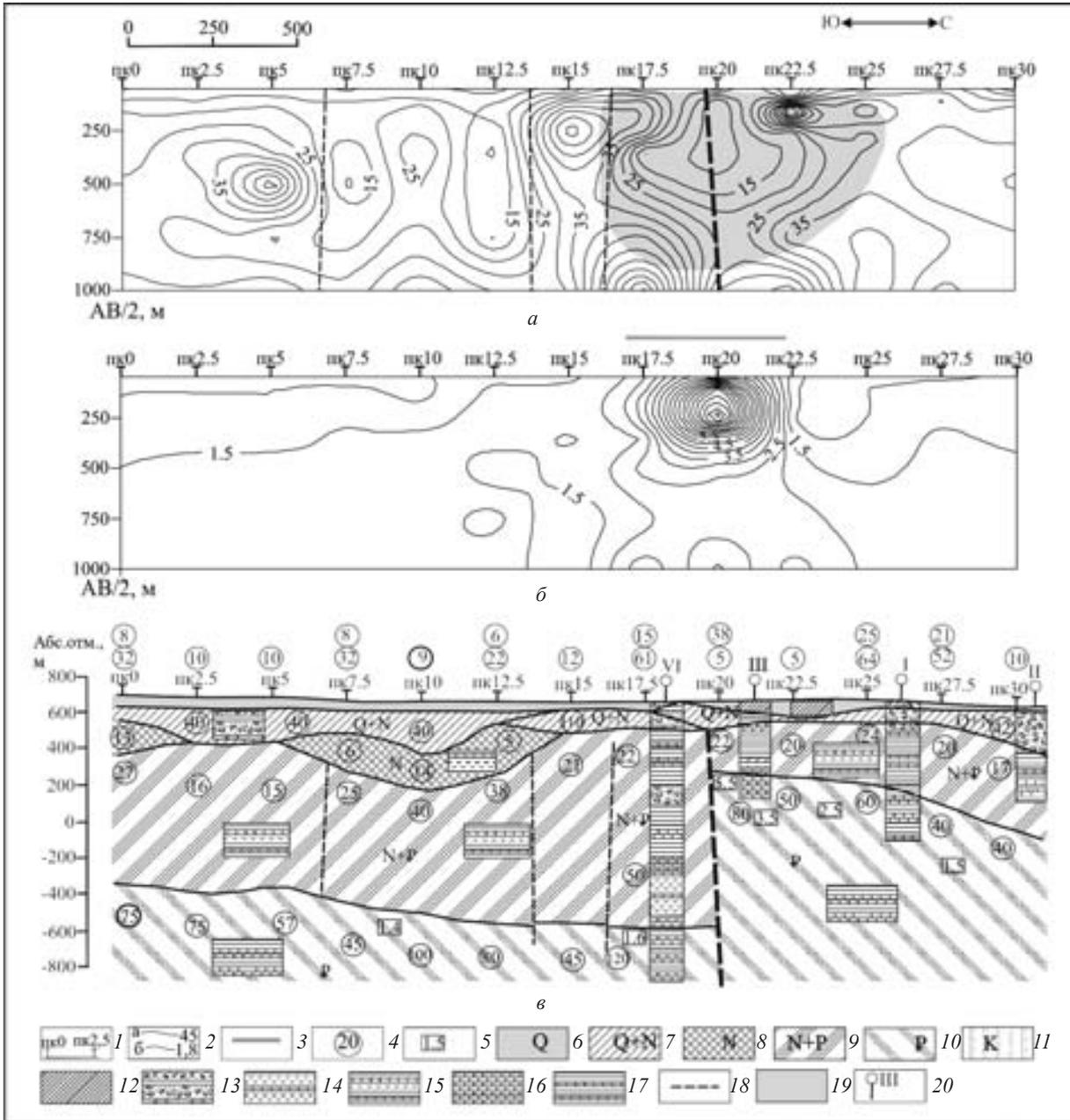


Рис. 6. Геолого-геофизические разрезы (ВЭЗ-ВП-10 (ФГМ)): *a* – величина кажущегося сопротивления; *б* – величина поляризуемости; *в* – литологический состав пород:  
1 – точки ВЭЗ-ВП; 2 – изолинии КС (*a*) и поляризуемости (*б*); 3 – зоны повышенной аномальной поляризуемости; 4 – удельное электрическое сопротивление; 5 – кажущаяся поляризуемость. Отложения: 6 – четвертичные; 7 – четвертичные и неогеновые нерасчлененные (сохско-бактрийские); 8 – неогеновые (массагетская серия), 9 – неогеновые и палеогеновые нерасчлененные, 10 – палеогеновые, 11 – меловые, 12 – суглинки; 13 – конгломераты и галечниковые отложения в песчано-глинистом заполнителе; 14 – алевролит плотный с прослойками песчаника; 15 – чередование глин, алевролитов с прослойками плотного песчаника и известняка; 16 – известняки доломитизированные, трещиноватые; 17 – переслаивание глин и алевролитов с песчаником; 18 – тектонические нарушения; 19 – зона образования сероводородной воды; 20 – гидрогеологическая скважина



**Гидрогеологическая характеристика бухаро-алайского водоносного комплекса и туркестанского водоносного горизонта Чимнионского месторождения**

Номер скважины	Интервал опробования, м	Удельный дебит, л/с	H <sub>2</sub> S, мг/л	Минерализация, г/л
III	404–506 (P <sub>2al</sub> –P <sub>1bhr</sub> )	0,12	200	7,3
I	497–543 (P <sub>2trk</sub> )	0,003	75	9,6
I	542–738 (P <sub>2al</sub> –P <sub>1bhr</sub> )	0,01	240	63
IV	855–1200 (P <sub>2al</sub> –P <sub>1bhr</sub> )	0,002	306	158
VI	1140–1177(P <sub>2al</sub> )	0,002	126	101
VI	1210-1238 (P <sub>1bhr</sub> )	0,005	180	148

На физико-геологическом разрезе выявлено локальное нарушение по всему объему толщи. Разломы играют важную роль при формировании сероводородных вод. Они обеспечивают продуктивный горизонт кислородом и инфильтрационными водами, необходимыми для активной циркуляции воды, которая, в свою очередь, приводит к формированию сероводородных вод (см. рис. 6, в).

**Методика картирования водоносных горизонтов, содержащих сероводородные минеральные воды, на основе разработанных корреляционных связей между геофизическими и гидрогеологическими параметрами**

Нами составлены карты распространения сероводородных вод по туркестанскому и бухаро-

ро-алайскому водоносным горизонтам на основе обобщенных анализов методов ОГТ, ВЭЗ-ВП, ГИС (рис. 7).

*Бухаро-алайский водоносный горизонт.* В хорошо проницаемых, сильнотрещиноватых породах мало-, среднеминерализованные, очень крепкосероводородные воды распространены на северном склоне (скв. 198, 200) и восточной периклинали (скв. III, XV) сводовой части структуры Чимион, а также в западной части (скв. IГ, VIII) структуры Кашкаркыр, в среднепроницаемых, среднетрещиноватых породах среднеминерализованные, среднесероводородные воды распространены в месте примыкания структур Чимион и Кашкаркыр, здесь расположена скв. VII, в слабопроницаемых, слаботрещиноватых породах рассольные, крепкосероводородные воды

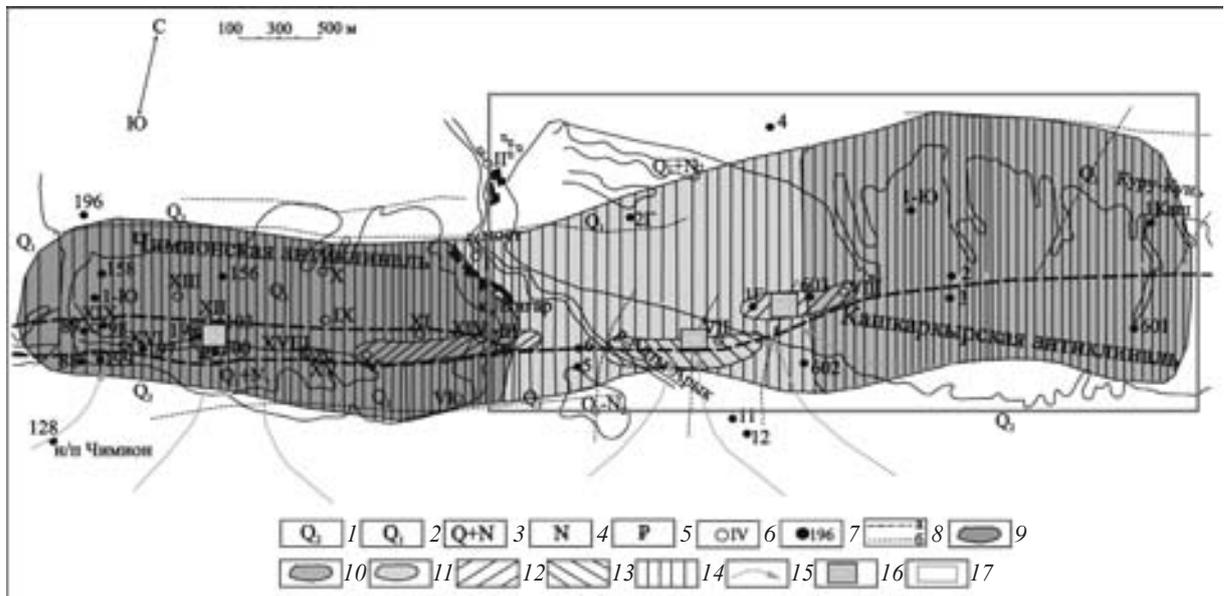


Рис. 7. Прогнозная карта распространения сероводородных вод по бухаро-алайскому водоносному горизонту Чимнионского месторождения минеральных вод. Четвертичная система: 1 – средний отдел, 2 – нижний отдел; 3 – четвертичная и неогеновая системы нерасчлененные (сохско-бактрийские отложения); 4 – неогеновая система (массагетская серия); 5 – палеогеновая система. Скважины: 6 – гидрогеологическая, 7 – нефтяная; 8 – тектонические нарушения, выявленные по: сейсморазведке (а), электроразведке (б); контур распространения сероводородных вод (мг/л): 9 – очень крепкосероводородные (более 250), выявленный контур в 1969–1986 гг.; 10 – крепкосероводородные (100 – 250), 11 – слабо- и среднесероводородные (10 – 50, 50 – 100); 12 – хорошо проницаемые (0,3 м/сут и более) и сильнотрещиноватые породы с мало-, среднеминерализованной водой (3–7 г/л); 13 – среднепроницаемые (0,1–0,3 м/сут) и среднетрещиноватые породы с мало-, среднеминерализованной водой (4,5–7 г/л); 14 – слабопроницаемые (0,001–0,1 м/сут) и слаботрещиноватые породы с высокоминерализованной водой (25–35 г/л и более) до рассола; 15 – направление потока подземных вод по кровле туркестанского горизонта; 16 – место заложения скважины; 17 – перспективные площади



распространены на северном и южном крыльях структур Чимион и Кашкаркыр (см. рис. 7).

Для увеличения запасов сероводородных вод рекомендуется установить проектные скважины по бухаро-алайскому горизонту: на северном склоне свода структуры Чимион между скв. 198 и 200; в месте примыкания структур Чимион и Кашкаркыр, к западу от скв. VII; в западной части структуры Кашкаркыр между скважинами IГ и VIII.

### Заключение

В ходе исследований были получены следующие результаты.

Подтверждена роль структурно-тектонического строения площади в формировании сероводородного месторождения. Уточнены продольные тектонические и несколько локальных нарушений, направление потока подземных вод по кровле туркестанского горизонта. Выявлена зависимость между сероводородными водами по концентрации и зоной повышенной, аномальной, поляризуемости методом вызванной поляризации, также на этой площади оконтурено распространение сероводородных вод по концентрации и установлена гидрохимическая зональность.

Установлена зависимость между гидрогеологическими ( $M$ ,  $K_{\phi}$ ) и геофизическими ( $P_{\text{п}}$ ,  $\rho_{\text{к}}$ ,  $\gamma_{\text{гл}}$ ) параметрами для трещиноватых водовмещающих пород структуры Чимион. Выявленная зависимость позволила проследить перспективные водоносные горизонты, уточнить места аккумуляции потока сероводородных вод в этой структуре, четко обосновать гидрогеологические показатели по каждому горизонту.

Разработана физико-геологическая модель (электроразведка) месторождения сероводородных вод, на основе которой определены геофизические поисковые критерии для выделения перспективных участков. На ФГМ определяются положение проектируемой скважины на профиле и интервал опробования сероводородной воды на разрезе.

УДК [551.49+553.98](075.8)

## ПАЛЕОГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА ФОРМИРОВАНИЯ ВОДОНЕФТЕГАЗОНОСНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПАЛЕОЗОЯ ЮГО-ВОСТОКА РУССКОЙ ПЛИТЫ

К. А. Маврин, М. П. Логинова

Саратовский государственный университет  
E-mail: mp.loginova@mail.ru

На протяжении длительной и разнообразной геологической истории зоны сочленения юго-востока Русской плиты и герцинского Урала формировались различные типы геогидродинамических систем. В статье даётся анализ возникающих и

Разработана методика составления карт распространения сероводородных вод по площади. Рекомендуются перспективные на сероводородные воды площади: Кашкаркыр с крепкосульфидными (100–125 мг/л), площадь примыкания структур Чимион и Кашкаркыр со слабо- и среднесульфидными водами (10–50, 50–100 мг/л). Дифференцированы участки по степени водопроницаемости, установлены места заложения эксплуатационных скважин на сероводородные воды с высокой производительностью по туркестанскому и бухаро-алайскому водоносным горизонтам.

### Библиографический список

1. Акрамходжаев А. М., Каримов А. К., Симоненко И. А., Саидходжаев Ш. Г. Фашиально-литологические и битуминологические предпосылки нефтегазоаккумуляции в мезозойских и палеогеновых отложениях Ферганской впадины. Ташкент, 1966. 251 с.
2. Ибрагимов Д. С. Гидрогеология месторождений сероводородных вод южной части Ферганского артезианского бассейна : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 1964. 25 с.
3. Иванов В. В. Сульфидные воды СССР. М., 1977. 257 с.
4. Ривман О. И. Минеральные сульфидные воды Востока Средней Азии. М., 1975. 70 с.
5. Плотникова Г. Н. Сероводородные воды СССР. М., 1981. 132 с.
6. Моисеев В. С. Метод вызванной поляризации при поисках нефтеперспективных площадей. Новосибирск, 2002. 136 с.
7. Иванов В. В., Невраев Г. А. Классификация подземных минеральных вод. М., 1964. 166 с.
8. Дахнов В. Н. Интерпретация результатов геофизических исследований разрезов скважин. М., 1982. 325 с.
9. Зинченко В. С. Петрофизические основы гидрогеологической и инженерно-геологической интерпретации геофизических данных : учеб. пособие для студ. вузов. М. ; Тверь, 2005. 392 с.



трансформирующихся палеогидрогеологических обстановок, способствующих процессам нефтегазообразования, нефтегазоаккумуляции, а в определённые моменты разрушения скоплений углеводородов. Оценивается суммарный эффект этих процессов.

**Ключевые слова:** геогидродинамические системы, нефтегазообразование, нефтегазоаккумуляция, разрушение залежей.



**Paleogeological Decor Formation  
Vodoneftegazonosnyh Paleozoic Complexes  
South-eastern Russian Plate**

**K. A. Mavrin, M. P. Loginova**

Over the long and varied geological history of the junction zone of the south-east of the Russian Urals Hercynian plate and formed various types geogidrodinamicheskikh systems The article analyzes the emerging and transforming paleogeological environments conducive to the processes of petroleum, oil and gas, and, at certain moments, the destruction of hydrocarbon accumulations. Estimated cumulative effect of these processes.

**Key words:** geogidrodinamicheskie systems, oil and gas generation, oil and gas accumulation, destruction deposits.

Гидрогеологическая история зоны сочленения юго-востока Русской плиты и герцинского Урала длительна и чрезвычайно сложна. Она свидетельствует о неоднократной смене развивающихся и деградирующих гидрогеодинамических систем, на фоне которых шли процессы нефтегазообразования и нефтегазонакопления.

Заложение на востоке мощной зоны осадконакопления (Уральской геосинклинали), а затем превращение ее в горно-складчатое сооружение, надвиговые процессы на западном склоне этого сооружения, заложение и формирование предгорного краевого прогиба на прилегающей части Русской плиты Восточно-Европейской платформы, стабилизация земной коры в пределах всех выделяемых геоструктур в начале мезозоя и, наконец, новейшее горообразование на Южном Урале – все это создавало условия для перемещения огромных водных масс из одних участков земной коры в другие. Изменение направления подземного стока или условий геофильтрации, процессы литогенеза в различных зонах температур и давлений, дополнительное влияние глубинных флюидов создавали предпосылки для глубокой метаморфизации подземных вод. Подземные воды, в свою очередь, оказывали воздействие на развитие гипергенных процессов в толщах водосодержащих горных пород, их катагенетическое преобразование при погружении, способствовали миграции различных элементов в вертикальном и латеральном направлениях, в том числе миграции нефтяных углеводородов и рудных компонентов.

Собранный за многие годы фактический материал позволяет воссоздать историю геологического развития восточного края Восточно-Европейского палеоконтинента и выделить гидрогеологические мегациклы на рассматриваемой территории. Гидрогеологические мегациклы, включающие этап преимущественной инфильтрации и этап преобладающей седиментации, отражают крупные отрезки геологической истории предорогенной и орогенной стадий развития Урала. Представляется возможным для рассматриваемой территории выделить отдельно архей-

раннепротерозойский инфильтрационный этап и четыре полных гидрогеологических мегацикла: позднепротерозойско-кембрийский, ордовикско-каменноугольный, пермско-раннетриасовый и мезозойско-кайнозойский. Большое влияние на формирование водонефтегазосных комплексов палеозоя юго-востока Русской плиты оказывает завершающий неотектонический этап развития.

На протяжении длительной и разнообразной геологической истории рассматриваемого региона возникали различные типы геогидродинамических систем,

**Архей-раннепротерозойский инфильтрационный этап**

Принципиально важным положением является вывод большинства исследователей о том, что в течение всей истории развития не только юго-востока Русской плиты, но и западной части герцинского Урала архей-нижепротерозойский складчатый фундамент сохранил основные черты своей внутренней структуры, в отличие от центральной эвгеосинклинальной части, где под влиянием магматической деятельности позднего протерозоя и палеозоя он подвергся коренной переработке (базификации) или где формировалась океаническая кора. Этот вывод базируется на анализе региональных геофизических материалов, свидетельствующих о близости полей платформы и западного склона Южного Урала. В пределах этих структурных элементов на фоне спокойного магнитного и гравитационного полей выделяются обширные аномалии субширотного простираения (преимущественно положительные магнитные и отрицательные в поле силы тяжести), пересекающие на востоке краевого прогиба и вторгающиеся на десятки километров в пределы Западно-Уральской складчатой области.

К концу этапа формирования складчатого кристаллического фундамента в результате карельского орогенеза в пределах рассматриваемой территории возникла горная страна. Создались условия для свободной инфильтрации атмосферной влаги в кристаллические породы. Интенсивная циркуляция вод в зоне свободного водообмена способствовала быстрому протеканию гипергенных процессов (гидрогенез) преобразования минерального состава пород фундамента. Близость к поверхности еще не остывших магматических очагов создавала условия для образования вокруг них ореолов термальных подземных вод. Выделить какие-либо конкретные гидрогеологические структуры в пределах фундамента не представляется возможным из-за отсутствия фактических данных. Можно лишь предполагать, что основными гидрогеологическими структурами во время его консолидации были гидрогеологические массивы с трещинно-жильным типом подземных вод [1]. О наличии трещинных коллекторов в



породах кристаллического фундамента востока Русской плиты свидетельствуют данные испытаний скв. 20000 Миниибаевской [2].

### **Позднепротерозойско-кембрийский гидрогеологический мегацикл**

Вслед за карельским тектогенезом, сопровождавшимся сжатием в парагеосинклинальную стадию, возникли обратные растягивающие напряжения в земной коре Евразийского палеоконтинента. Под влиянием этих напряжений произошли расколы архей-древнепротерозойского субстрата (эпикарельской коры) и возникла рифтовая зона. В некоторых местах проявился базальтовый магматизм, однако до полного разрыва коры не дошло, и не возник океанический бассейн [3].

Зоны перикратонных опусканий, которые формируются на этапе интенсивных растяжений земной коры, относятся к группе резонансно-тектонических структур. Эти структуры, по мнению Ю. М. Пушаровского [4], возникают в краевых частях платформы в результате реакции на активные тектонические движения в смежных геосинклиналях.

Судя по характеру гравитационного поля, область интенсивного осадконакопления в позднем протерозое располагалась на востоке рассматриваемой территории в пределах современного западного склона Южного Урала, откуда шел элизионный поток. В пределах же современной структуры Предуральского краевого прогиба и повсеместно далее к западу находилась область глубокого размыва разрушающейся горной страны [5], из которой поступал обломочный материал, образовавший мощные терригенные свиты рифея, венда и кембрия на Урале.

По геофизическим данным глубина залегания кристаллического фундамента на западном склоне Южного Урала на широте г. Оренбурга определяется более чем в 11 км. Суммарная мощность палеозойских образований составляет здесь около 6000 м. Следовательно, около 5000 м приходится на допалеозойские терригенные свиты.

Некоторые исследователи [6, 7] считают, что большая мощность осадочного чехла на западном склоне Урала есть результат сучивания шарьяжных пластин.

Как было отмечено выше, основная масса обломочного материала в прогибающиеся участки земной коры на рассматриваемой территории в позднем протерозое – раннем палеозое поступала из отдельных областей центральной части Русской плиты. Этот материал частично оседал в изолированных бассейнах, располагающихся на площади современных структур юго-востока собственно платформы: Бузулукской впадины, Предуральского прогиба, Прикаспийской впадины, но основная часть его проносилась на восток в зону перикратонного опускания. Так возникли

сравнительно маломощные отложения бавлинской свиты, сопоставляемые с более мощными образованиями ашинской серии, залегающими на западном склоне Южного Урала под ордовиком.

В свете изложенной тектонической обстановки в позднепротерозойско-кембрийский мегацикл на юго-востоке Русской плиты седиментация шла в изолированных бассейнах, в которых возникали элизионные процессы. Промывание атмосферными водами разрушающихся горных сооружений шло в пределах приподнятых отдельных массивов. С их стороны наметился сток в сторону прогибов, из которых ему навстречу двигались элизионные потоки. В быстро накапливающихся осадках рифея и венда, которые входили в зону катагенетических преобразований, шли процессы нефтегазогенерации, однако сведения о наличии очагов нефтегазонакопления в этих отложениях отсутствуют, впрочем, как и данные о самих толщах рифея и венда.

К концу раннего палеозоя горная страна юго-восточной части Русской плиты была в значительной степени сnivelирована, хотя отдельные участки продолжали служить источниками сноса обломочного материала в прилегающие изолированные бассейны седиментации.

Необходимо отметить, что в конце позднепротерозойско-кембрийского тектогенеза (конец венда – начало кембрия) в результате байкальской фазы складчатости в области интенсивного перикратонного опускания произошли значительные по амплитуде дифференцированные движения, которые привели к почти полному уничтожению позднепротерозойских образований в центральной части современной структуры Башкирского антиклинория. Следовательно, здесь вновь возникает инфильтрационный водообмен в древнем субстрате по мере размыва перекрывающих рифейских образований.

На южном погружении Башкирского поднятия, по-видимому, продолжались седиментация и элизионные процессы.

На склоне поднятия происходила встреча талассогенных элизионных вод с инфильтрационными метеогенными подземными водами, сток которых шел в основном в южном направлении вглубь бассейна седиментации. Такое распределение подземных вод различного генезиса в самых древних осадочных образованиях рассматриваемого региона обусловило определенную направленность гидрохимических процессов. В древних осадочных образованиях юго-восточного перикратона платформы сохранились слабоосолоненные подземные воды инфильтрационного генезиса.

### **Ордовикско-каменноугольный гидрогеологический мегацикл**

Западная граница распространения ордовикских и силурийских отложений проходит примерно по осевой части современной структуры



Предуральского прогиба. К югу в Прикаспийском регионе зона распространения этих отложений расширяется.

Они, например, отсутствуют в разрезе скв. 619 (Буланово), но появляются в центральной части Предуральского прогиба (скв. 3, Белоглинская площадь) и присутствуют на всех площадях восточнее, где представлены в маломощных платформенных фациях. Западной границей распространения отложений этих возрастных подразделений увеличенной мощности является Зильмердакский разлом, который южнее под покровом более молодых отложений, по мнению В. В. Эза с соавторами [8], практически совпадает с западной границей современной Южно-Зилаирской ступени.

Таким образом, до наступления среднедевонской морской трансгрессии гидрогеологические условия в западной и восточной частях рассматриваемой территории были различными. В западной части в процессе денудации были уничтожены верхние части разреза бавлинских отложений и, по-видимому, полностью промыты атмосферными водами нижние горизонты свиты, т. е. произошло замещение седиментационных вод метеогенными инфильтрационными водами. При этом сами седиментационные воды здесь формировались большей частью в опресненных или пресноводных водоемах и были близки по своей минерализации к пресным инфильтрационным водам.

В восточной же части территории непрерывное прогибание и накопление осадков способствовали захоронению морских седиментационных вод как в комплексе допалеозойских, так и в самих палеозойских отложениях.

Возникшая на рубеже силура и девона в пределах западной границы Зилаирского синклиория мобильная зона, возможно, связанная с одним из региональных разломов юго-восточного ограничения Восточно-Европейской платформы, явилась местом формирования в раннем и среднем девоне рифогенных массивов. В. М. Келлер [9] указывал, что барьерный риф девонского времени был приурочен к внешнему краю платформы, где он наподобие современного барьерного рифа Австралии отделял мелководную платформенную лагуну от глубокой, не загруженной осадками, депрессии морского дна. Этот вывод доказывает разрез рифогенного девона вскрытый в скв. 63 Акбердинской.

Можно предполагать, что ордовикские, силурийские и девонские отложения на всей площади распространения, вне зависимости от фациальной принадлежности, формировались в морском бассейне и, следовательно, содержали седиментационные воды морского генезиса.

В среднем девоне после длительного перерыва в осадконакоплении повсюду на юго-востоке Русской плиты начали накапливаться терригенно-карбонатные отложения. В скв. 619, например, мощность среднедевонских отложений составляет 200 м.

Морские условия осадконакопления просуществовали до конца ранней перми и завершились в Южном Предуралье и Прикаспии галогенезом. В течение всего этого длительного геологического отрезка времени большая часть территории, включающая юго-восток Волго-Уральской антеклизы, Предуральский краевой прогиб и даже значительную площадь западного склона Южного Урала (целиком башкирский антиклинорий и западное обрамление Южно-Зилаирской ступени), характеризуется платформенным режимом развития. Более сложная обстановка этого времени характеризует регион Прикаспийской впадины, где, возможно, была кора океанического типа [10]. В морском платформенном бассейне шло карбонатообразование. Известняки, часто глинистые, содержат подчиненные прослои ангидритов, алеволитов и песчаников. В данном комплексе встречаются, главным образом, трещинно-пластовые и трещинно-порово-кавернозные коллекторы с локализованными участками повышенной проницаемости.

Более разнообразный комплекс пород сформировался за это время в зоне континентального склона и подножия на востоке территории. Здесь на континентальном склоне до верхнефранского времени формировались рифовые постройки, к которым с востока примыкают депрессионные глубоководные образования.

С конца франского времени некомпенсированный прогиб (континентальное подножие) заполняется терригенным материалом, в изобилии поступавшим с востока в результате разрушения кордильер (островных дуг) внутри геосинклинальной области.

Со второй половины турнейского века внешний миогеосинклинальный прогиб Уральской геосинклинали мигрирует на запад вследствие разрушения континентального склона. В этом прогибе на протяжении каменноугольного периода происходит образование флиша, связанного с подводными суспензионными потоками, выносившими по подводным каньонам материал с континентального шельфа.

Гидрогеологические условия рассмотренного длительного тектонического этапа характеризуются преобладанием элизионного гидродинамического режима. Движение подземных вод было в значительной степени затруднено. Пластовое давление в водоносных горизонтах, создаваемое в результате отжимания воды из глинистых толщ при их уплотнении [11–15] следует рассматривать как функцию геостатической нагрузки. Ее неравномерное распределение в девоне и карбоне по площади морского бассейна могло приводить к перемещению подземных флюидов из одних участков в другие. Преобладающим направлением было движение из миогеосинклинального прогиба на платформу. Не исключено, что в миогеосинклинальный прогиб на востоке происходило внедрение глубинных флюидов [16–18].



Формирование вещественного состава водонефтегазоносных комплексов в девонское и каменноугольное время можно представить как процесс взаимодействия морских седиментационных вод с терригенно-карбонатным вмещающим комплексом пород при участии глубинных флюидов. Ионно-обменные процессы между жидкой и твердой фазами, приводящие в конечном итоге к формированию хлоридных кальциево-натриевых рассолов, подробно рассмотрены в

недавно вышедшей монографии В. Г. Попова и Р. Ф. Абдрахманова [19]. В. Н. Холодов с соавторами [20] отмечает, что «развитие элизионного осадочно-породного бассейна обычно приводит к формированию газоводных флюидов различного состава» (с. 143) на различных палеоглубинах. Такие условия благоприятствовали процессам нефтегазообразования и формированию нефтегазовых скоплений в ловушках, встречающихся на пути миграции флюидов (рис. 1).

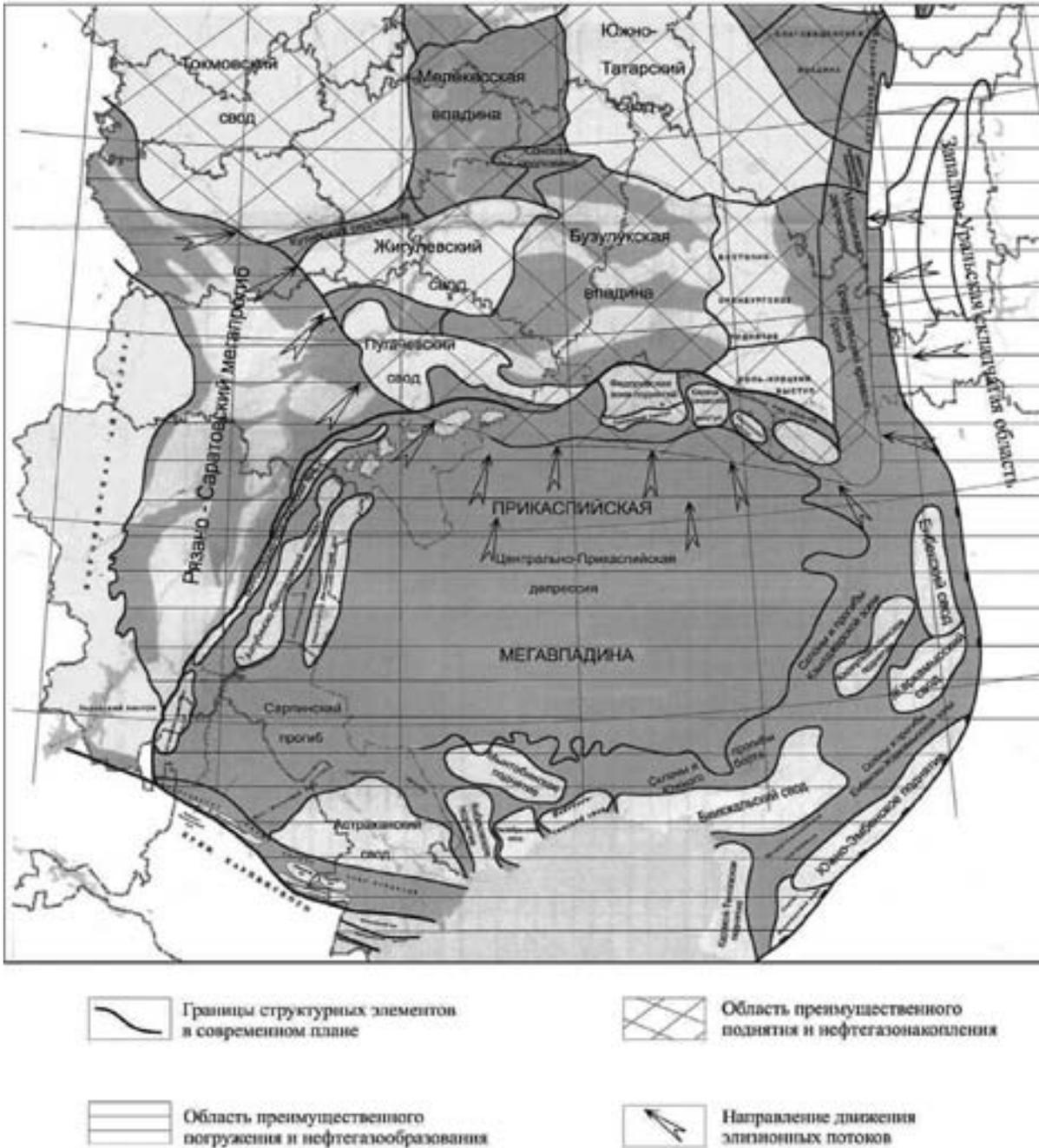


Рис. 1. Гидродинамическая обстановка ордовикско-каменноугольного гидрогеологического мегацикла



### Пермско-раннетриасовый гидрогеологический мегацикл

Горообразовательные движения в области Уральской геосинклинали, ознаменовавшие собой последнюю завершающую стадию ее развития, начавшиеся на рубеже карбона и перми, вызвали появление в прилегающей части Русской плиты как компенсацию этих движений огромного субмеридионального прогиба, уходящего и расширяющегося в Прикаспий. В Предуралье начались коренная перестройка структурного плана и, соответственно, изменение гидрогеологических условий.

В пермско-раннетриасовое время возникли и сформировались основные структурные формы всего юго-востока Русской плиты, в том числе и наиболее крупные из них структуры Предуральского краевого прогиба и Прикаспийской синеклизы.

Таким образом, они явились качественно новыми структурными элементами, возникшими на определенной стадии развития герцинского Урала, а именно на стадии превращения геосинклинали системы в горную страну. Если Предуральский краевой прогиб возникает как качественно новый элемент, то Прикаспийская впадина проявляет себя как унаследованная структура.

В связи с коренной перестройкой структурного плана в начале пермской эпохи резко изменяются и гидрогеологические условия. Прежде всего, впервые получают инфильтрационное питание выведенные на поверхность в результате горообразовательных движений рифейско-вендско-нижнепалеозойские водонефтегазоносные комплексы миогеосинклинали области. По мере развития складчатых процессов и общего поднятия палео-Урала в зону интенсивного водообмена попадали всё более глубокие части земной коры. Наиболее интенсивное промывание толщ горных пород происходило по нарушенным зонам, которые образовались в результате складчато-надвиговых процессов и захватили комплекс магматических и комплексы метаморфических и осадочных пород. Исходя из этого, гидродинамические условия пермско-раннетриасового этапа непосредственно в горной части Южного Урала можно охарактеризовать как условия ад-артезианского бассейна (по Зайцеву и Толстихину). Подземный сток в верхней гидродинамической зоне был обусловлен характером расположения мест питания и разгрузки и направлен вдоль склонов горных сооружений.

Более сложной представляется картина движения подземных вод в рассматриваемый отрезок в нижних гидродинамических зонах (в зоне затрудненного и зоне весьма затрудненного водообмена, по Игнатовичу). В эпохи активизации складкообразовательных процессов орогенного этапа в результате возникших тан-

генциальных напряжений в земной коре происходило общее смятие слоистых осадочных толщ в миогеосинклинали области на западном склоне Южного Урала. Это приводило к вытеснению первичных морских (седиментогенных) поровых вод в пласты и зоны с повышенной проводимостью и смешению их с инфильтрационными водами. Отжатые таким образом воды частично двигались по трещиноватым зонам к поверхности и здесь разгружались. Другая их часть перемещалась в латеральном направлении на запад в сторону относительно более спокойного залегания осадочных толщ с пониженными величинами пластовых давлений на платформе, перенося в своем составе различные минеральные компоненты и разгружаясь от них на геохимических барьерах.

Е. В. Артющков и М. А. Бээр [21] отмечают, что в миогеосинклинали существуют повышенные тепловые потоки, активизация локальной тектоники и быстрое созревание нефти на относительно небольших глубинах. Высокотемпературные «очаги», в большой степени влияющие не только на гидродинамические условия, но и на процессы катагенетического изменения системы «порода–вода», сыграли, по-видимому, определенную роль в превращении рассеянного органического вещества в палеозойских и допалеозойских толщах в углеводороды нефтяного ряда. При массовом движении флюидов происходила большая потеря углеводородов за счет их разгрузки в зонах нарушений [22].

Поскольку сквозные нарушения, образовавшиеся в результате орогенических движений типа взбросо-надвигов, не только выходили на поверхность в миогеосинклинали области, но и простирались вглубь предгорного прогиба, вполне закономерно предположить наличие субмаринной разгрузки части подземных рассолов в пермский морской бассейн. Это способствовало в определенной мере его засолению и выпадению солей в осадок в кунгурском веке, хотя основным фактором галогенеза, бесспорно, являлся испарительный процесс в аридной климатической зоне [23].

На возможность перемещения подземных флюидов из геосинклинали области на платформу указывали А. Л. Козлов [24], В. М. Познер [25], З. Д. Маймин [26], В. А. Кротова [22], М. Е. Королев [27].

Большую роль в процессе вертикального и латерального перемещения подземных растворов, как было указано выше, играли тектонические условия орогенного этапа развития палео-Урала, охватывающего отрезок времени от конца карбона до конца раннего триаса.

Химический состав подземных вод на западном склоне Южного Урала изменялся в результате вытеснения седиментационных талассогенных вод осадочной толщи из орогенной области в платформенную, занятую



непосредственно инфильтрационными водами и водами нижней термогидродинамической зоны. О зональном изменении химического состава подземных растворов на западном склоне Южного Урала в постседиментационный этап свидетельствуют жильные образования, наблюдаемые в породах флишевой и нижнемолассовой формаций.

В породах более древних и расположенных ближе к центральной Урал-Таусской зоне трещины и пустоты в большинстве случаев выполнены кварцем, очень часто встречаются друзы мелких кристаллов горного хрусталя (повсеместно в толще пород зилаирской свиты, а иногда и в породах нижнего карбона). Вверх по разрезу и к западу по площади распространения все трещины и даже поровое пространство в терригенных разностях пород выполнены, как правило, кальцитом (в породах среднего и верхнего карбона), а в крайней западной полосе распространения пород ассельского, сакмарского и артинского ярусов – гипсом.

По мере вытеснения из миогеосинклинальной области хлоридных седиментационных вод ухудшались фильтрационные свойства всего комплекса допалеозойских и палеозойских образований в результате выпадения в осадок труднорастворимых солей из подземных растворов в результате смешения вод. Проведенные исследования пористости и проницаемости многочисленных образцов горных пород из естественных обнажений и керна скважин показали, что даже наиболее грубозернистые разности песчаников, гравелиты и конгломераты карбона и нижней перми при общей пористости до 20% обладают очень низкой проницаемостью, не превышающей 0,01 мд.

Безусловно, процессы кольматации (залечивания) пористого пространства в допалеозойских и палеозойских комплексах сопровождалась вытеснением из них не только хлоридных растворов, но и генерированных углеводородов, часть которых в водорастворенном состоянии могла переместиться на запад в сторону приподнятого края платформы (Аширов, 1972г.).

Глубоководный в начальную стадию своего развития в ассельском, сакмарском и артинском веках морской бассейн Предуралья и Прикаспия в кунгурском веке был заполнен быстро накапливающимися сульфатно-галогенными отложениями с незначительной примесью терригенного материала. Превышение скорости накопления солей над скоростью прогибания привело к его замыканию и образованию озерно-аллювиальной равнины к началу уфимского века.

Пластические породы кунгура Предуральско-Прикаспийского региона прорвали верхнепермско-нижнетриасовую толщу к началу среднего

триаса. Это сыграло немаловажную роль в формировании гидрогеологических условий второй половины пермско-раннетриасового гидрогеологического мегацикла, отделенной от первой временем накопления соленосных отложений кунгура.

В подсолевом комплексе возникла релаксирующая гидрогеодинамическая система с внутренними перетоками флюидов.

На химический состав подземных вод инфильтрационного генезиса в толще красноцветных континентальных моласс, особенно в начальную стадию их формирования (уфимский век), большое влияние оказывало растворение кунгурских солей ложа бассейна седиментации. Гидравлическая связь этих вод с водами докунгурских нижнепермских и более древних образований, по-видимому, отсутствовала. Постепенно, по мере накопления континентальных осадков влияние подземного растворения солей затухало и, наоборот, увеличивалось опресняющее воздействие инфильтрационных метеорологических вод.

Диapiroвые процессы привели к созданию «петлячато-ячеистой» структуры, в которой синклиналильные, моноклиналильные и сложнодислоцированные блоки красноцветной толщи оказались разобращенными кунгурскими гипсово-соляными поднятиями. В результате в Предуральско-Прикаспийском регионе по всей его площади создано множество отделенных друг от друга или сопряженных лишь в верхних частях микроартезианских бассейнов со специфическим гидрогеодинамическим режимом и зональностью заключенных в них подземных вод. Водовмещающими пластами в таких бассейнах являются невыдержанные по простиранию, косослоистые пачки алевролитов, песчаников и конгломератов, разделенные глинистыми прослоями. Вся толща верхнепермско-нижнетриасовых образований разбита многочисленными разрывными нарушениями. В таких «микроартезианских бассейнах» область питания водоносных горизонтов, как правило, совпадает с областью их распространения, напор возрастает с глубиной, а разгрузка нижних водоносных горизонтов практически отсутствует. Лишь в местах максимального оттока пластических масс солей кунгура в результате сближения кровли яруса с подошвой, возможно, создавались условия для гидравлической связи подземных вод красноцветной толщи с водоносными комплексами карбонатно-терригенных докунгурских образований.

Большое влияние на режим подземных вод оказывали карстовые процессы в пределах соляных куполов, проникающие на значительные (в нескольких сот метров) глубины (рис. 2).

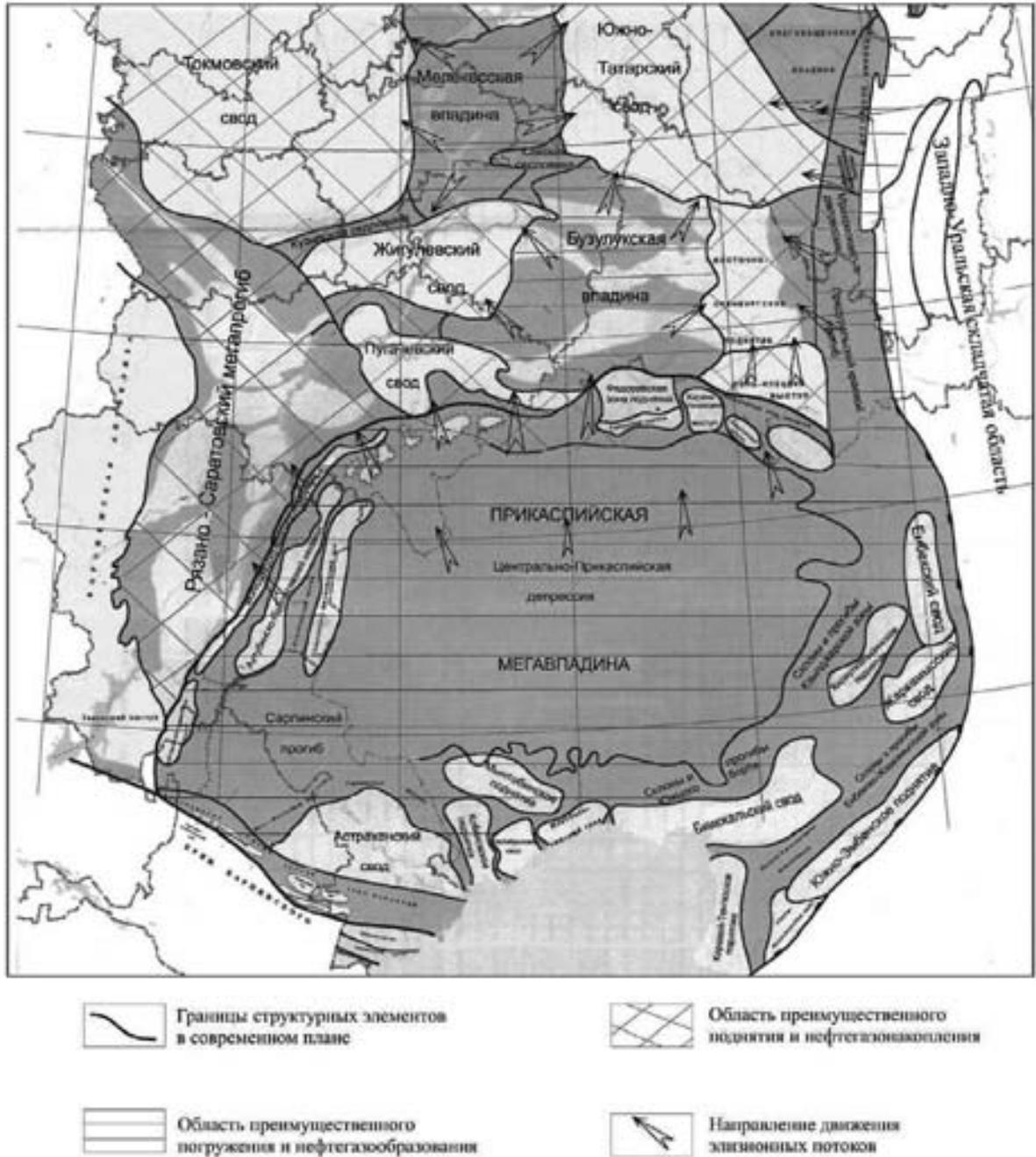


Рис. 2. Гидродинамическая обстановка пермско-раннетриасового гидрогеологического мегацикла

**Мезозойско-кайнозойский гидрогеологический мегацикл**

Гидрогеологические условия, возникшие в конце предыдущего этапа развития, в несколько измененном виде существуют в юго-восточной части Русской плиты Восточно-Европейской платформы до настоящего времени. Однако в мезозойско-кайнозойский тектонический этап рассматриваемая территория прошла длительный и сложный путь развития.

Горные сооружения западного склона Южного Урала просуществовали до конца оленекского века раннего триаса. К концу среднего триаса денудационная поверхность срезала герцинское горное сооружение. На поверхности пенеплена на Южном Урале формировались коры выветривания [28], а в Предуралье шло накопление маломощных сероцветных, иногда угленосных, озерных отложений. Произошла стабилизация тектонического режима, начался платформенный этап развития со слабыми дифференцированными



движениями по отдельным блокам. Вначале накопление осадков шло локализовано в континентальных условиях. В Предуралье наблюдается гинетическая приуроченность континентальных отложений среднего и верхнего триаса, юры и более молодых образований к апикальным частям кунгурских диапировых поднятий. Это предопределило развитие своеобразных отрицательных структур, получивших в геологической литературе название «дизъюнктивные мульды» (по В. Е. Руженцеву) или «синклинали оседания» (по А. С. Хоментовскому) и связанных с развитием подземного глубокого карста. То же происходило и в Прикаспии в более грандиозном масштабе, где мезозойско-кайнозойские отложения распространились и за пределы соляных куполов.

Гидрогеодинамические условия начала рассматриваемого гидрогеологического мегацикла характеризуются замедленным водообменном даже в самой верхней зоне. На водораздельных пространствах шло формирование латеритных, а затем каолинитовых кор выветривания в условиях влажного тропического климата. Усиление тектонической активности в ранней юре на Южном Урале, приведшее местами к полному размыву кор выветривания [28–30], способствовало некоторой активизации инфильтрационного питания водоносных горизонтов и усилению подземного стока на западном склоне. Собственно в Предуралье продолжалось локализованное осадконакопление в условиях слабой расчлененности рельефа и гумидного климата.

Прогибание депрессий и накопление в них осадков закончились в конце средней юры. Большая часть Предуралья в позднеюрское время покрылась водами морского бассейна. Периодические трансгрессии моря происходили на Южном Урале и в Приуралье на протяжении всего мезозойско-кайнозойского времени. Палеогеографическая обстановка в различные отрезки этого времени с достаточной полнотой описана в работах В. А. Гаряинова и Н. А. Васильевой [31], В. В. Гудошникова и В. А. Гуцаки [28], В. В. Гудошникова и А. Д. Наумова [32]. Здесь необходимо лишь указать, что после перерыва в раннем мелу медленное опускание территории, начавшееся в альбе, привело к трансгрессии туронского моря. Прогибание нарастало и достигло максимума в маастрихтском веке. Отступление моря в датский век вновь сменилось трансгрессией в палеоцене. Далее, после отступления моря в среднем эоцене новая трансгрессия в саксаульское время (верхний эоцен) захватила лишь самую южную часть Предуралья, до широты р. Илек (рис. 3).

Начиная с олигоцена крупные циклы осадконакопления происходили уже только в пресноводных водоемах.

Периодическая смена морских и континентальных условий в гидрогеологическом отношении выражалась в чередовании седиментационных и инфильтрационных этапов, которые в соче-

тании составляли отдельные гидрогеологические циклы. Таких циклов в Южном Предуралье за мезозойско-кайнозойскую историю можно выделить не менее четырех.

На большей части территории Южного Урала и Предуралья весь комплекс образований среднего и позднего триаса, юры, мела, палеогена и неогена был уничтожен денудационными процессами. Влияние палеогидрогеологических условий мезозойско-кайнозойского времени на режим и состав подземных вод палеозойского комплекса, не говоря уже о более древних отложениях, не было существенным. Это объясняется, прежде всего, наличием гидрохимической толщи кунгура, изолирующей нижнюю водоносную систему от воздействия поверхностных факторов.

Общий подъем в Предуралье, начавшийся в олигоцене, приводит к интенсивной эрозионной деятельности. Аккумуляция в раннем и среднем олигоцене происходит в крайне ограниченном числе пунктов в Башкирском Предуралье [33] и более широко в Прикаспии. На большей же площади юго-востока Русской плиты в связи с поднятиями происходят денудация, интенсивное промывание пород в результате инфильтрации атмосферных осадков, усиливается развитие процессов выщелачивания и карста.

Как отмечалось выше, карстовые процессы в сульфатно-галогенных породах кунгура в периоды наивысшего стояния территории способствовали просадочным явлениям, сохранившим от размыва комплекс пород среднего и верхнего триаса, юры, мела и палеогена. Этот комплекс в сопряженных участках отсутствия карста полностью уничтожался эрозионно-денудационными процессами вплоть до вскрытия палеозойского субстрата, на котором покоился мезозойско-кайнозойский платформенный чехол. Глубины, на которые распространялись карстовые процессы, судя по суммарной мощности пород, слагающих «дизъюнктивные мульды», составляли более 400 м [34, 35]. Можно предположить, что на еще большую глубину промывались инфильтрационными водами все породы верхней зоны. В результате растворения солей в пределах кунгурских поднятий образовались высокоминерализованные хлоридные растворы (рассолы выщелачивания), которые затем стекали в нижние части синклиналильных блоков.

К позднему олигоцену, по данным В. А. Гаряинова и Н. А. Васильевой [31], мезозойский покров в Предуралье сохранился лишь к югу от р. Илека. Выравнивание рельефа произошло в конце олигоцена – начале миоцена. Происходит заболачивание водоемов, создаются условия для угленакопления. Миоценовые отложения, сохранившиеся в отдельных местах (в основном в крайних частях дизъюнктивных мульд), представлены большей частью глинами с многочисленными обуглившимися растительными остатками [33].

В позднем миоцене начались довольно интенсивные поднятия в пределах западного склона

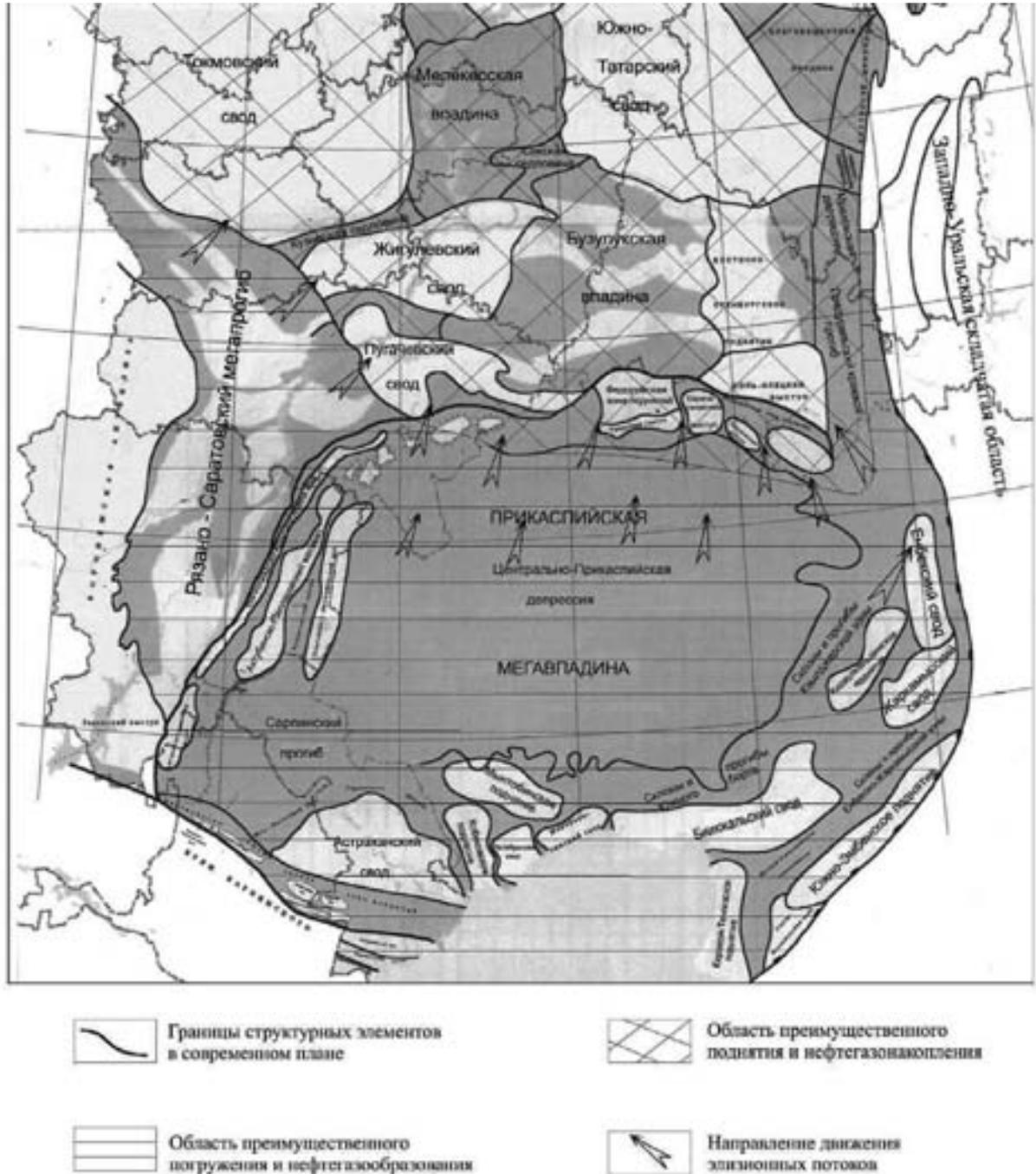


Рис. 3. Гидродинамическая обстановка мезозойско-кайнозойского гидрогеологического мегацикла

Южного Урала, вновь герцинское сооружение приобретает орогенные черты. Происходит перестройка речной сети, в Южном Предуралье возникает система широтных речных долин (р. Белая, Сакмара, Урал, Илек). В плиоцене по этим долинам происходила ингрессия акчагыльского моря.

В неотектонический этап развитие территории шло по пути дифференциации тектонических движений в пределах западного склона Урала и собственно Предуральско-Прикаспийской депрессии при общем медленном поднятии, сопровождав-

шемся явлениями разуплотнения пород на глубине. Таким образом, окончательно сформировалась современная структура юго-востока Русской плиты.

Гидрогеологические условия различных частей этой территории на современном этапе имеют свои специфические особенности и в динамике, и в химическом составе подземных вод, что, прежде всего, обусловлено наличием разнообразных структурных форм.

В верхней гидродинамической зоне инфильтрационное питание и интенсивный подземный



сток ведут к промыванию пород от легко растворимых солей. В этой зоне и на западном склоне Южного Урала, и в Предуральско-Прикаспийской впадине, и в пределах Волго-Уральской антеклизы преимущественным распространением пользуются подземные воды гидрокарбонатного класса группы кальция (по О. А. Алекину). В то же время специфические структурные условия той или иной части территории создают предпосылки для возникновения ореольных минеральных вод в этой гидродинамической зоне [36].

Так, наличие в Предуральско-Прикаспийской впадине соляно-гипсовых структурных форм обуславливает возникновение на отдельных участках подземных вод с повышенной минерализацией в водоносных горизонтах не только самих сульфатно-галогенных отложений кунгура, но и в горизонтах верхнепермских красноцветных толщ, и в образованиях мезокайнозоя. Часто разгрузка этих вод в речные долины является причиной распространения в аллювиальных отложениях соленоватых и соленых вод хлоридного класса [37].

Современные гидрогеологические условия рассматриваемой территории являются результатом воздействия всех природных факторов, тесно взаимосвязанных между собой. Невозможно правильно оценить современную гидрогеологическую обстановку, современное состояние подземных вод и скоплений полезных ископаемых, в первую очередь углеводородов, не проанализировав предшествующую геолого-гидродинамическую историю региона. Палеогидрогеологические реконструкции для обширной территории юго-востока Русской плиты смежной миогеосинклинальной области Южного Урала проводятся впервые.

### Библиографический список

1. *Зайцев И. К., Толстихин Н. И.* Классификация подземных вод и горных пород – основа гидрогеологического картирования и районирования // Проблемы гидрогеологического картирования и районирования. Л., 1971. С. 4–16.
2. *Анисимов Б. В., Доронкин К. Н., Кавеев И. Х., Абдуллин Н. Г., Барс Е. А., Плотников И. А.* Подземные воды кристаллического фундамента Татарского свода // Геология нефти и газа. 1979. № 11. С. 29–36.
3. *Пучков В. Н.* Батинальные комплексы пассивных окраин геосинклинальных областей. М., 1979. 260 с.
4. *Пуцаровский Ю. М.* Резонансно-тектонические структуры // Геотектоника. 1969. № 1. С. 3–12.
5. *Олли А. И.* Об условиях образования верхних свит древнего палеозоя на Южном Урале и об источниках терригенного материала, слагающего их // Тр. / Башк. геол.-разв. трест. Уфа, 1937. Вып. 6. С. 8–15.
6. *Казанцев Ю. В.* Структурная геология Предуральского прогиба. М., 1984. 184 с.
7. *Камалетдинов М. А.* Покровные структуры Урала. М., 1974. 230с.
8. *Эз В. В., Гафт Д. Е., Кузнецов Б. И.* Морфология и условия образования голоморфной складчатости на примере Зилаирского антиклинория Южного Урала. М., 1965. 102 с.
9. *Келлер В. М.* Флишевая формация палеозоя в Зилаирском синклинии на Южном Урале и сходные с ней образования. // Тр. / ГИН АН СССР. Сер. геол. М., 1949. Вып. 104, № 34. С. 93–100.
10. *Рихтер Я. А.* Очерки региональной геодинамики Прикаспийской впадины и ее обрамления // Тр. / НИИ Геологии СГУ. Нов. сер. 2003. Т. XIV. С. 8–13.
11. *Бурштар М. С.* Основы теории формирования залежей нефти и газа. М., 1973. 256 с.
12. *Вассоевич Н. Б.* Опыт построения типовой кривой гравитационного уплотнения глинистых осадков // Новости нефт. техники. Геология. 1960. № 4. С. 11–15.
13. *Ломтадзе В. Д.* Методы лабораторных исследований физико-механических свойств глинистых пород. Л., 1972. 312с.
14. *Мухин Ю. В.* Процессы уплотнения глинистых осадков. М., 1965. 200 с.
15. *Нестеров И. И.* Уплотнение глинистых пород. // Сов. геология. 1965. № 12. С. 69-80.
16. *Аникиев К. А., Введенская А. Я., Шендерей Л. П.* Классификация происхождения аномально высоких пластовых давлений (АВПД) // Изв. вузов. Геология и разведка. 1985. № 11. С. 93–101.
17. *Кропоткин П. Н.* Дегазация земли и происхождение углеводородов // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1985. Т. 60, вып. 6. С. 13–18.
18. *Линецкий В. Ф.* Миграция нефти и газа на больших глубинах. Киев, 1974. 135 с.
19. *Попов В. Г., Абдрахманов Р. Ф.* Ионообменная концепция в генетической гидрогеохимии / под ред. В. Г. Попова. Уфа, 2013. 356 с.
20. *Холодов В. Н., Дементьева О. Ф., Петрова Р. П.* Проблема формирования вторичной пористости и песчаных коллекторах элизионных бассейнов // Коллекторы нефти и газа на больших глубинах : тез. док. III Всесоюз. конф. (Москва, 1–3 февраля 1983 г.). М., 1983. С. 143–144.
21. *Артюшков Е. В., Бээр М. А.* Геодинамические условия образования нефтегазоносных бассейнов // Геология и геофизика. 1986. № 6. С. 3–13.
22. *Кротова В. А.* Гидрогеологические факторы формирования нефтяных месторождений (на примере Предуралья) // Тр. / ВНИГРИ. Л., 1962. Вып. 191. С. 54–62.
23. *Фивег М. П., Ходьков А. Е.* К итогам познания соленосных формаций за последнее десятилетие // Общие проблемы галогенеза. М., 1985. С. 3–11.
24. *Козлов А. Л.* Геосинклинали и нефтегазоносность краевых частей платформы // Нефтяное хозяйство. 1955. № 3. С. 50–54 ; № 4. С. 43–49.
25. *Познер В. М.* Некоторые черты развития структурно-тектонического плана Волго-Уральской области и западного склона Урала в среднем и верхнем палеозое // Тр. / ВНИГРИ. Л., 1958. Вып. 17. С. 234–251.
26. *Маймин З. Л.* О возможности выделения нефтепроизводящих пород в разрезе карбона и перми Волго-Уральской области // Тр. / ВНИГРИ. Л., 1958. Вып. 117. С. 252–276.
27. *Королев М. Е.* Гидрогеологические условия рудообразования. Казань, 1982. 119с.



28. Гудошников В. В., Гуцаки В. А. Геологическая история Орского Урала в мезозое и кайнозое // Вопросы геологии Южного Урала и Поволжья. Саратов, 1970. Вып. 7, ч. 1. С. 165–166.
29. Никифорова К. В. Континентальные мезозойские и кайнозойские отложения восточного склона Южного Урала. // Тр. / ГИН АН СССР. Сер. геол. 1948. № 13, вып. 45. С. 17–25.
30. Хабаков А. В. Доюрский рельеф и древняя кора выветривания в южной части Южного Урала // Изв. Географ. о-ва. 1935. Т. 67, вып. 2. С. 165–196.
31. Гаряинов В. А., Васильева Н. А. Палеогеография Оренбургского Предуралья в палеогеновое и миоценовое время // Вопросы геологии Южного-Урала и Поволжья. Саратов, 1970. Вып. 7, ч. 2. С. 3–20.

32. Гудошников В. В., Наумов А. Д. Кайнозойские отложения Орского Урала // Вопросы геологии Южного Урала и Поволжья. Саратов, 1970. Вып. 7, ч. 2. С. 45–46.
33. Яхимович В. П. Кайнозой Башкирского Предуралья. Уфа, 1958. 176 с.
34. Гаряинов В. А. Эзогенные структуры и их поисковое значение. Саратов, 1980. 208 с.
35. Гаряинов В. А., Маврин К. А. Дизъюнктивные мульды Оренбургского Приуралья // Вопросы геологии Южного Урала и Поволжья. Саратов, 1966. Вып. 2. С. 3–23.
36. Попов В. Г. Гидрогеохимия и гидрогеодинамика Предуралья. М., 1985. 278 с.
37. Севастьянов О. М., Севастьянова С. К. Подземные воды кунгурских отложений Оренбургского Приуралья // Вопросы геологии Южного Урала и Поволжья. Саратов, 1970. Вып. 7, ч. 1. С. 20–33.

УДК [567.1/5:551.736.3](470.314)

## ИХТИОФАУНА ТЕРМИНАЛЬНОЙ ПЕРМИ В ОКРЕСТНОСТЯХ Г. ВЯЗНИКИ ВЛАДИМИРСКОЙ ОБЛАСТИ

А. В. Миних, М. Г. Миних, С. О. Андрушкевич

Саратовский государственный университет  
E-mail: minihav@mail.ru

Проведён анализ ихтиофауны из верхней перми у г. Вязники Владимирской области. Установлено, что время образования пород, вмещающих кости ископаемых рыб, принадлежит терминальной пермской ихтиофаунистической подзоне *Toyemia blumentalis-Gnathorhiza otschevi-Mutovinia sennikovi*. Высказано предположение, что вверх по разрезу происходит смена комплексов рыб, отдельные представители которых распространились в триасе. Дополнено описание лучепёрой рыбы *Mutovinia sennikovi* А. Миних по вновь полученным уникальным материалам из местонахождения Соковка.

**Ключевые слова:** ихтиофауна, терминальная пермь, Владимирская область, местонахождение, лучепёрые рыбы

### Terminal Permian Ichthyofauna from the Vicinity of Viazniki Town, Vladimir Province

A. V. Minikh, M. G. Minikh, S. O. Andrushkevich

The Upper Permian ichthyofauna from Viazniki, Vladimir Region, has been analyzed. The rocks hosting fossil fish bones have been determined to belong to the terminal Permian ichthyofauna subzone *Toyemia blumentalis-Gnathorhiza otschevi-Mutovinia sennikovi*. An assumption is advanced that upwards in the section replacement of the fish complexes takes place, with some of the representatives pervading into the Triassic. Description of the actinopterygian *Mutovinia sennikovi* A. Minich has been complemented on the basis of the new unique materials from the Sokovka location.

**Key words:** ichthyofauna, terminal Permian, Vladimir Province, locality, osteichthyes.

### Введение

Изучению позднепермской биоты в терминальных пермских отложениях в окрестностях



г. Вязники Владимирской обл. (рис. 1) посвящено немало работ. Однако ихтиофауне в них уделялось явно недостаточное внимание. Одна из самых основополагающих и достаточно давних публикаций, в которой упоминаются местонахождения позвоночных в этом районе, – «Каталог местонахождений пермских и триасовых наземных позвоночных на территории СССР» [1] относится к 50-м гг. прошлого века. В ней И. А. Ефремовым и Б. П. Вьюшковым были представлены кратко описанные А. А. Добролюбовым разрезы перми в двух местонахождениях: Вязники-1 и Вязники-2, в песчаных толщах которых были обнаружены прекрасной сохранности кости тетрапод – лабиринтодонтов и териодонтов, в то время ближе не определимых. Так как «Каталог...» был посвящен местонахождениям наземных позвоночных, о находках костей рыб в нём почти не упоминалось, хотя они к тому времени в Вязниках уже были обнаружены. Это касается, прежде всего, крупных спинных плавниковых шипов (ихтиодорулитов) акуловых и проблематичных остатков других рыб, найденных в те годы Б. П. Вьюшковым в рыхлом костеносном песке слоя 7 в местонахождении Вязники-1 [1, с. 92–93] и долгое время не изучавшихся. В 70-е гг. прошлого века часть рыбных остатков из Вязников была передана для исследования в лабораторию по изучению ископаемых позвоночных НИИ геологии СГУ доктором биологических наук М. А. Шишкиным (ПИН РАН). Спустя несколько лет нами были идентифицированы три относительно крупных фрагмента ихтиодорулитов: как выяснилось, они принадлежат новому таксону акулы из отряда *Hybodontiformes*. Сейчас они находятся в стадии описания.



Ещё один плавниковый шип из местонахождения Вязники-1, который долгое время оставался для нас загадкой, оказался принадлежащим лучепёрой рыбе из выделенного и описанного нами в 1998 г. нового отряда *Discordichthyiformis* [2]. Его краткое описание и видовое определение, равно как и описание других образцов ихтиофауны из Вязников, будут представлены в настоящей статье.

Много позднее, уже в конце XX в., московскими коллегами из ПИН РАН были найдены или достаточно детально описаны и раскопаны открытые ранее [3] местонахождения различных групп животных и растений из этой местности. К ним, в первую очередь, следует отнести местонахождения на западной окраине г. Вязники – Быковка и Соковка (см. рис. 1), на которых в последнее

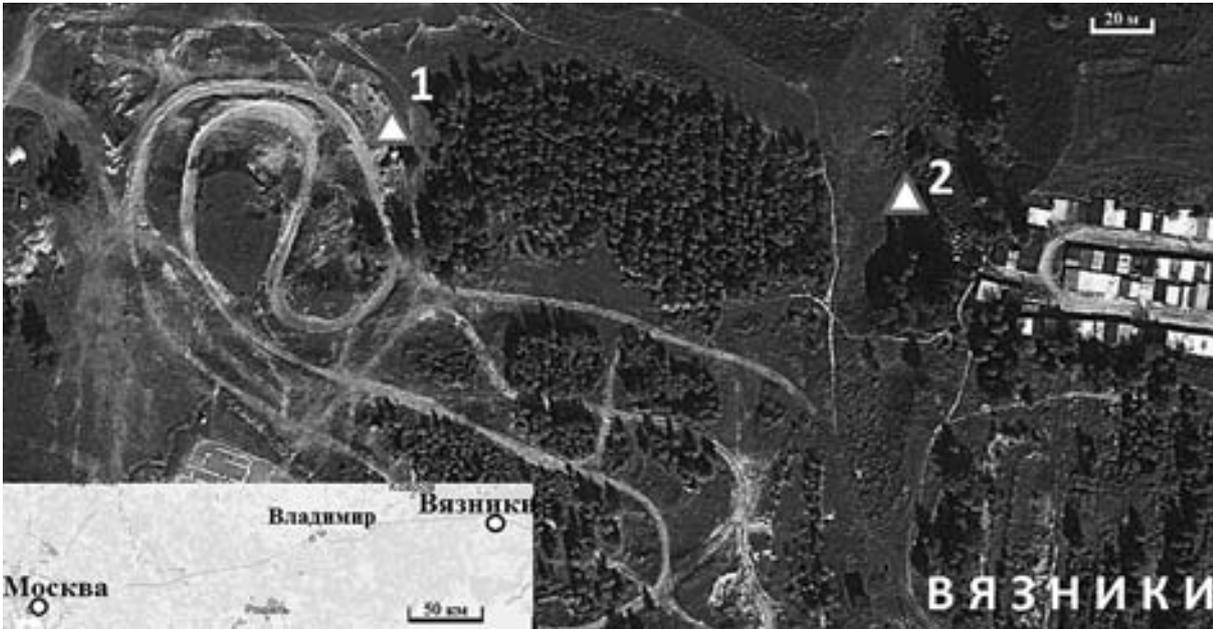


Рис. 1. Схема расположения местонахождений Быковка и Соковка в окрестностях г. Вязники: 1 – местонахождение Быковка; 2 – местонахождение Соковка

десятилетие проводили раскопочные работы А. Г. Сенников и В. К. Голубев [4]. Определения рыб отсюда проводились авторами настоящей работы, но практически не были опубликованы в статьях, акцентированных на ихтиофауне, что повлекло за собой непонимание некоторыми коллегами ситуации о наличии определяемой фауны в ряде местонахождений. Так, раскопки местонахождения Быковка, проведённые в 2008 г. геологами Саратовского госуниверситета М. Г. Миних и А. В. Миних и саратовскими школьниками старших классов С. О. Андрушкевичем и Р. В. Самойловым (ныне студентами геологического факультета СГУ), привели к находкам большого числа костей рыб и некоторых тетрапод в самых верхних слоях песчаного карьера – в пестроцветных алевро-глинах. Списки ихтиофауны из местонахождения Быковка были представлены в материалах конференции в Казани, где при палеоихтиологическом контроле была дана палеомагнитная интерпретация разреза терминальной перми у г. Вязники [5]. На них авторы статьи [6], опубликованной тремя годами позже, по всей вероятности, не обратили должного внимания, что дало им основание отметить факт отсутствия в терминальной перми в разрезе Быковка определяемых органических остатков. Создавшаяся ситуация побудила нас более оттенить находки их-

тиофауны в вышеотмеченных местонахождениях и прояснить их значимость для биостратиграфии.

Ниже приводится краткое описание слоёв, содержащих остатки ископаемых рыб в местонахождениях Соковка и Быковка.

#### Местонахождение Соковка

Разрез Соковка расположен в правом борту крутого короткого оврага на западе г. Вязники, в правобережье р. Клязьма. Он задернован, вскрыт шурфами и канавами и хорошо представлен в работах А. Г. Сенникова и В. К. Голубева [4], проводивших там раскопки позвоночных и других групп ископаемых. Кроме того, в раскопках этого местонахождения принимали участие в разные годы и другие исследователи из ПИН РАН, Саратовского госуниверситета и Польши. Нижнюю часть разреза (рис. 2) слагают бурые пески (видимая мощность 4 м) и залегающие на них серые глины (3 м). Верхняя половина этого разреза сложена пачкой (18–20 м) желтовато-серых, красновато-бурых и светло-коричневых песков, с тонкими (0,5–0,7 м) линзовидными прослоями гравелитов. Верхи этой песчаной толщи хорошо коррелируются по литологии с песчаными образованиями в карьере Быковка.



Рис. 2. Разрезы терминальнопермских отложений в местонахождениях Соковка и Быковка (сост. по материалам авторов, а также [3])

В местонахождении Соковка обнаружены хорошей сохранности определяемые кости наземных позвоночных, принадлежащие самому молодому фаунистическому комплексу тетрапод перми Восточной Европы [4], а также ихтиофауна, остракоды, конхостраки, двустворчатые моллюски, насекомые, листовая флора, споры и пыльца. Среди рыб здесь в слое серых старично-озерных глин (см. рис. 2) нами определены довольно многочисленные фрагменты покровных костей черепа и чешуи лучепёрых рыб *Mutovinia sennikovi* A. Minich, зубы *Isadia aristoviensis* A. Minich. Из вышележащей песчаной толщи сотрудниками ПИН РАН и Польши были найдены и переданы в Отделение геологии СГУ кости очень крупной особи *Mutovinia sennikovi* A. Minich, достигающей при жизни в длину примерно 2,3–2,5 м, кости и чешуи *Strelnia sp.*, *Isadia aristoviensis*, а также чешуйка рыбы рода *Evenkia*.

Этот род известен из нижнетриасовых отложений на р. Нижняя Тунгуска в Сибири [7, 8] и в ряде местонахождений нижнего и среднего триаса Восточной Европы [9]. Комплекс рыб, без сомнения, принадлежит переходным слоям пермо-

триасового возраста, так как среди вятских форм впервые появляются лучепёрые рыбы *Evenkia sp.*, широко распространившиеся затем в триасе России. Кроме того, находки в местонахождении рыб *Mutovinia sennikovi* свидетельствуют о том, что время образования слоев, содержащих рыб, соответствует терминальной позднепермской ихтиофаунистической субзоне *Toyemia blumentalis* – *Gnathorhiza otschevi* – *Mutovinia sennikovi* [10, 11], коррелируемой с тетраподной зоной *Archosaurus gossicus*. Этот вывод подтверждается анализом комплекса ихтиофауны в терминальных отложениях перми в разрезах Соковка и Быковка и еще в ряде (территориально не столь отдалённых) опорных разрезов перми и триаса. К ним, в частности, относится разрез перми в Овраге Жуков вблизи г. Гороховец Владимирской обл. [12, 13]. Более того, ареал распространения *Mutovinia sennikovi* значительно расширился на северо-восток: в 2013 г. наши раскопки местонахождения Савватий-2 в среднем течении Малой Северной Двины, открытого ранее М. П. Арефьевым и получившего название «Элеонора» [14], привели к находке покровных костей этого же вида.

#### Местонахождение Быковка

Песчаный карьер Быковка расположен в правобережье р. Клязьма, на западной окраине г. Вязники Владимирской области, в 190 м к западу от разреза Соковка. Раскопка и описание разреза проведены авторами данной статьи в его восточной стенке. Здесь под дерновым слоем сверху-вниз обнажаются (см. рис. 2):

- 1) пески серовато-коричневые, мелкозернистые, косослоистые. Видимая мощность до 0,4 м;
- 2) пачка линзообразного переслаивания красновато-коричневых глин и голубовато-серых алевроитов, содержащая на разных уровнях прослой с многочисленными копролитами белого и буровато-розового цвета диаметром от 0,5 до 2 см. В большинстве копролитов обнаружены очень плохой сохранности чешуйки и членики лепидотрихий лучепёрых рыб неясной систематической принадлежности, а также редкие обломки и фрагменты мелких раковин двустворчатых моллюсков. В верхней части пачки найдены многочисленные кости рыб; реже встречаются зубы и рыхлые обломки костей тетрапод, которые тут же рассыпались при изъятии из слоя. Из рыб нами были определены виды, характерные для верхов вятского яруса верхней перми: *Toyemia blumentalis* A. Minich, *Toyemia sp.*, *Strelnia sp.*, зубы *Isadia sp.*, а также чешуи рыб, сблизжаемые с *Evenkia (?) sp.* Кроме того, найдены чешуйные ихтиолиты неизвестных таксонов рыб и единичные зубы, ранее соотносимые нами с *Saurichthys (?) sp.* Судя по последним данным, эти зубы являются представителями нового таксона рыб и сейчас находятся в стадии изучения. Мощность – 1,0 м;



3) пески коричневато-серые и жёлто-серые, мелко- и тонкозернистые, слюдястые, с марганцовистыми (?) стяжениями чёрного цвета. На разных уровнях наблюдаются линзообразные прослои розовато-красных (с серо-зелёной оторочкой) глин мощностью до 10 см, а также катуны глин, иногда образующие в песках цепочки.

Видимая мощность до дна карьера – 6,6 м.

Как видно из представленного выше списка фауны в слое 2 местонахождения Быковка, ихтиофауна являлась на то время практически единственной стратиграфически значимой группой.

## ОПИСАНИЕ РЫБ

Класс Actinopterygii. Лучепёрые

Лучепёрая рыба *Mutovinia sennikovi* A. Minich впервые была описана из местонахождения Вязники-2 по крупной чешуе из сборов А. Г. Сенникова. Это описание дополнено за счёт вновь выявленной кости из этого же местонахождения – дистальной части брюшного плавникового шипа (из сборов Б. П. Вьюшкова), а также покровных костей черепа и висцерального скелета из местонахождения Соковка из последующих сборов коллег из ПИН РАН и Института палеобиологии ПАН (Варшава).

Отряд Discordichthyiformes A. Minich, 1998  
Семейство Discordichthyidae A. Minich, 1998  
Род *Mutovinia* Minich, 1992

*Mutovinia*: Миних, 1992, с. 144;  
*Mutovinia*: А. Миних, 1998, с. 49;  
*Mutovinia*: А. Миних, 2006, с. 93.

Типовой вид – *Mutovinia stella* Minich, 1992

Диагноз (дополненный). Рыбы длиной до 250 см. Спинные плавниковые шипы прямые, с широким основанием и округло-зауженным дистальным концом. Чешуи крупные, высокие, налегающие. Костный сегмент грудного плавника дистально заострен и имеет глубокую продольную полость. *Supraorbito-postorbitale* со слабо вогнутым орбитальным краем. Чешуи, ихтиодорулиты и покровные кости головы и плечевого пояса скульптурированы высокими, ребристыми бугорками.

Видовой состав. *M. stella* Minich и *M. sennikovi* A. Minich из татарского отдела перми Европейской России.

Сравнение. Отличается от всех остальных родов семейства иной формой дистального сегмента грудного плавника и *supraorbito-postorbitale*, морфологическим строением костей черепа и висцерального скелета, а также скульптурой покровных костей.

Распространение. Род характерен для верхней половины северодвинского яруса и вятского яруса татарского отдела верхней перми Восточной Европы.

*Mutovinia sennikovi* A. Minich, 2006

*Mutovinia sennikovi*: А. Миних, 2006, с. 95, табл. XVII, фиг. 14.

*Mutovinia sennikovi*: А. Миних, Миних, 2009, с. 221, табл. LXIII, фиг. 7.

Голотип – СГУ, № 104-Б/2984, чешуя; Владимирская область, Вязниковский район, Вязники-2; верхняя пермь, татарский отдел, верхняя часть вятского яруса.

Описание (дополненное). Крупные рыбы, достигающие в длину 2,5 м. *Operculum* (обр. СГУ, № 104-Б/3191 из песчаной пачки местонахождения Соковка) крупное, массивное. Имеет форму сильно удлинённого треугольника длиной 74 мм и максимальной шириной в дорсальной части 36 мм (рис. 3). Впереди кость имеет узкую (0,5–0,7 мм), продольно вытянутую и вдавленную по сравнению с орнаментированной поверхностью сочленовную площадку. Дорсальная поверхность *operculum* уплощенная и орнаментирована сплошным покровом из высоких округлых полых внутри небольших бугорков, величина которых уменьшается к низу кости. Внутренняя поверхность *operculum* вогнутая и содержит в наиболее погруженной верхней части крупный гиомандибулярный отросток. Из этой же песчаной пачки был найден крупный фрагмент вертикальной ветви *cleithrum* (обр. СГУ, № 104-Б/3306). Его сохранившаяся верхняя половина равна 13,1 см в высоту и 4,0 см в ширину (рис. 4). В целом виде вертикальная ветвь клейтрума могла достигать 18,0 см. В плане кость имеет слегка выпуклый дистальный край и вогнутый в нижней трети – проксимальный. Верхний край *cleithrum* широкий, округловыпуклый. Передняя верхняя четверть кости слабо погружена кпереди и вниз. Немного вентральнее эта часть кости ориентирована уже поперек своей дорсальной поверхности, постепенно к низу увеличиваясь по площади в 3–4 раза. Судя по сохранившимся остаткам скульптуры кость была полностью покрыта круглыми высокими полыми внутри маленькими бугорками, как у *operculum*.

Высокая плоская чешуя (высота 13–25 мм, длина 8–10 мм) имеет гладкий задний край; её сочленовный шип с широким основанием и прободен тремя маленькими отверстиями для выходов сенсорного канала. Передняя сочленовная поверхность чешуи очень мала; свободное поле густо покрыто высокими, уплощенными сверху клиновидными бугорками, заостренными назад и вниз. Их относительно широкий передний край осложнен несколькими изящными, тонкими гребешками. Крупная сочленовная ямка на внутренней поверхности чешуи достигает трети ее высоты.

Спинные плавниковые шипы большие, с широко расставленными стенками проксимально. Их орнамент состоит из крупных как округлых, так и клиновидных полых внутри бугорков; последние осложнены с одной из сторон гребешками. Брюшные плавниковые шипы, судя по сохранившемуся небольшому фрагменту длиной 24 мм (обр. СГУ, № 104-Б/946) из местонахождения Вязники-1,

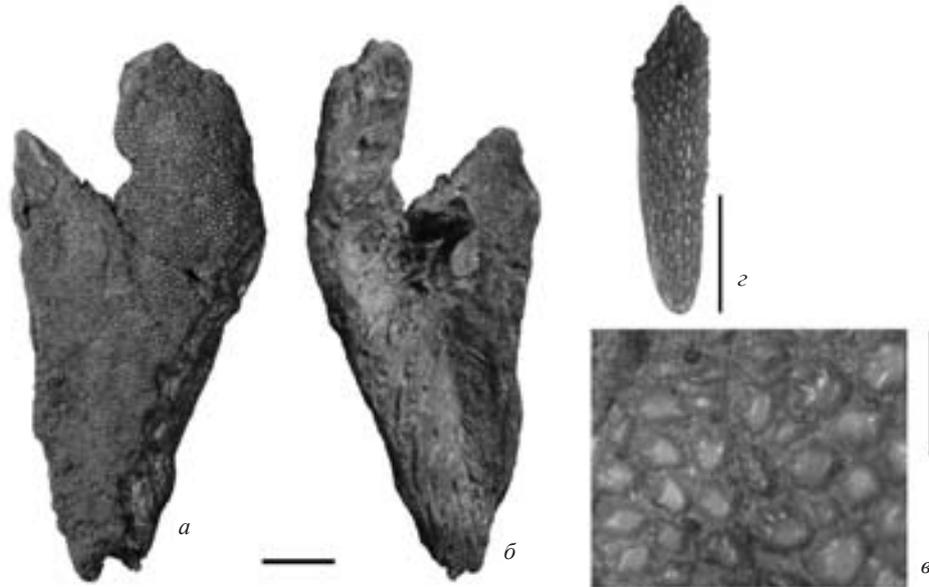


Рис. 3. Operculum лучепёрой рыбы *Mutovinia sennikovi* А. Миних, обр. СГУ, № 104-Б/3191: *a* – дорсально; *б* – вентрально; *в* – деталь скульптуры; *г* – обр. СГУ, № 104-Б/ 946: дистальная часть брюшного плавникового шипа *Mutovinia sennikovi*. Размерная линейка для *a*, *б* и *г* соответствует 1 см, для *в* – 1 мм



Рис. 4. Фрагмент дорсальной части вертикальной ветви клейтрума *Mutovinia sennikovi* А. Миних, обр. СГУ, № 104-Б/3306: *a* – латеро-вентрально; *б* – дорсально. Размерная линейка соответствует 1 см

были неглубоко погружены в тело рыбы. Каудально они имеют длинную продольную ложбину в проксимальной части, а спереди и с боков орнаментированы высокими удлинёнными и полыми внутри бугорками, осложненными по одному из краев тонкими рёбрышками.

Сравнение. От *Mutovinia stella* Миних наш вид

отличается более крупными размерами особей, иным морфологическим строением и скульптурой покровных костей, плавниковых шипов и чешуй.

Распространение. Верхняя пермь, татарский отдел, верхняя часть вятского яруса; Владимирская, Вологодская и Нижегородская области Российской Федерации.



## Заключение

Резюмируя изложенное, считаем необходимым остановиться на выявленной смене комплексов ихтиофауны в разрезе терминальной перми в исследуемом районе. Как видно на рис. 2, рыбы обнаружены на трёх уровнях разреза. В Соковке, в глинах нижней части разреза, присутствуют кости небольших (до 0,5 м), изящных *Mutovinia sennikovi*, а также позднеявские *Isadia aristoviensis*. Выше, в песчаной пачке среднего по уровню костеносного слоя, присутствуют крупные (до 2,3–2,5 м в длину) *Mutovinia sennikovi*, помимо обычных позднеявских форм рыб, появляются рыбы, сближаемые с *Evenkia*. Этот род широко распространён в нижнем и среднем триасе европейской части России и известен в нижнем триасе из весьма отдалённых территорий Сибири (первоописание рода – из Нижней Тунгуски было сделано Л. С. Бергом ещё в 40-х гг. прошлого века). В верхнем костеносном слое (разрез Быковка) присутствует несколько иной комплекс рыб. Здесь, кроме эвенкий и тойемий, появляются рыбы, ранее соотносимые нами с хрящевыми ганоидами *Saurichthys sp.*, широко распространёнными в триасе мира. Однако после получения новых материалов из верхнепермского местонахождения Гороховец Владимирской области, требующих дополнительного исследования, не исключается вероятность принадлежности костей рыб, соотносимых нами ранее с заурихтисами, к новому, возможно, их предковому таксону.

Как видно из изложенного, вверх по напластованию происходит смена комплексов рыб: в средней части разреза появляются эвенкии, распространившиеся затем в триасе, в верхней – рыбы близкие по характерным признакам к заурихтисам. Подобная картина складывается и в непрерывном разрезе перми и триаса в Жуковом овраге [12, 13]. Таким образом, не исключается вероятность проведения по ихтиофауне более детальных стратиграфических разбивок терминальнопермских пород и их корреляции с отложениями верхней перми в других регионах Восточно-Европейской платформы.

Авторы признательны сотрудникам ПИН РАН – М. А. Шишкину, А. Г. Сенникову, В. К. Голубеву, В. В. Буланову, И. Д. Сукачёвой и С. А. Афонину, а также Томашу Сулей (Tomasz Sulej) из Института палеобиологии ПАН (Варшава) за находки и предоставленные материалы по ихтиофауне из местонахождений Соковка и Вязники-1, Вязники-2.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 13-05-00592).

## Библиографический список

1. Ефремов И. А., Вьюшков Б. П. Каталог местонахождений пермских и триасовых наземных позвоночных на территории СССР. М., 1955. 185 с.

2. Миних А. В. Позднепермские дискордихтиформные рыбы (Osteichthyes) европейской части России // Палеонтол. журн. 2006. № 5. С. 90–98.

3. Сенников А. Г. Позднепермское местонахождение Вязники – история и перспективы изучения // Современная геология : история, теория, практика : междунар. конф., посвящ. 250-летию Гос. геол. музея им. В. И. Вернадского РАН (г. Москва, 14–16 октября 2009 г.). М., 2009. С. 209–212.

4. Сенников А. Г., Голубев В. К. Вязниковский этап в истории пермской континентальной биоты Восточной Европы // Верхний палеозой России : Стратиграфия и палеогеография : материалы Всерос. конф., посвящ. памяти проф. Вячеслава Георгиевича Халымбаджи (Казань, 25–27 сентября 2007 г.). Казань, 2007. С. 284–291.

5. Балабанов Ю. П., Миних М. Г., Миних А. В., Солдатенкова Ю. А. Палеомагнитная интерпретация разреза терминальной перми у г. Вязники (при палеоихтиологическом контроле) // Верхний палеозой России : Стратиграфия и фациальный анализ : материалы Второй всерос. конф., посвященной 175-летию со дня рождения Н. А. Головкинского (27–30 сентября 2009 г.) / отв. ред. В. В. Силантьев. Казань, 2009. С. 169–171.

6. Арефьев М. П., Кухтинов Д. А. Палеонтологическая и литологическая характеристика триасовых отложений в районе г. Вязники // Бюл. РМСК. 2012. Вып. 5. С. 113–117.

7. Берг Л. С. Нижнетриасовые рыбы Тунгусского бассейна // Изб. труды. М., 1962. Т. 5. С. 379–393.

8. Селезнёва А. А. К характеристике рода *Evenkia* (Palaeoniscis) // Палеонтол. журн. 1983. № 3. С. 120–121.

9. Миних М. Г., Миних А. В. Ихтиофауна в стратиграфии триаса севера Европейской России // Геология и минеральные ресурсы европейского северо-востока России : материалы XIV Геол. съезда Республики Коми. Т. III. Сыктывкар, 2004. С. 333–335.

10. Миних М. Г., Миних А. В. Зональная схема триаса Европейской России по ихтиофауне // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2006. Т. 6, вып. 1. С. 63–71.

11. Миних М. Г., Миних А. В. Ихтиофауна в стратиграфии перми и триаса Европейской России // Общая стратиграфическая шкала России : состояние и перспективы обустройства : Всерос. конф. (Москва, 23–25 мая 2013 г.) / отв. ред. М. А. Федонкин. М., 2013. С. 228–231.

12. Миних А. В., Голубев В. К., Кухтинов Д. А., Балабанов Ю. П., Миних М. Г., Сенников А. Г., Муравьев Ф. А., Воронкова Е. А. К характеристике опорного разреза пограничных отложений перми и триаса в овраге Жуков (Владимирская обл., бассейн р. Клязьма) // Пермская система : Стратиграфия, палеонтология, палеогеография, геодинамика и минеральные ресурсы : материалы конф., посвящ. 170-летию со дня открытия пермской системы (Пермь, 5–9 сент. 2011 г.). Пермь, 2011. С. 133–138.

13. Голубев В. К., Миних А. В., Балабанов Ю. П., Кухтинов Д. А., Сенников А. Г., Миних М. Г. Опорный разрез перми и триаса в Жуковом овраге у г. Гороховец, Владимирская обл. // Бюл. РМСК. 2012. Вып. 5. С. 49–82.

14. Арефьев М. П., Голубев В. К., Кухтинов Д. А., Миних А. В., Силантьев В. В. Новое местонахождение остатков позднепермских животных и растений на Малой Северной Двине : вязниковский уровень? // Палеострат2014. Годичное собр. (науч. конф.) секции палеонтологии МОИП и Московского отделения Палеонтологического общества при РАН. (Москва, 27–29 января 2014 г.). М., 2014. С. 8–9.



## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Агзамова Инобат Абдувахидовна**, заведующий кафедрой гидрогеологии и геофизики Ташкентского государственного технического университета, кандидат геолого-минералогических наук, г. Ташкент (Республика Узбекистан). E-mail: hydrouz@rambler.ru

**Андрушкевич Станислав Олегович**, студент кафедры инженерной геологии и гидрогеологии геологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: kpf.stalker@mail.ru

**Астаркин Сергей Васильевич**, ведущий специалист отдела оперативного анализа и мониторинга геологоразведочных работ по Ханты-Мансийскому автономному округу Филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени (г. Когалым). E-mail: sv.astarkin@rambler.ru

**Ваншин Юрий Васильевич**, профессор кафедры гидрогеологии и инженерной геологии геологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, доктор геолого-минералогических наук, заведующая кафедрой. E-mail: vanshin@sgu.ru

**Гончаренко Ольга Павловна**, доцент кафедры петрографии и минералогии геологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, доктор геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой. E-mail: GoncharenkoOP@mail.ru

**Гребенюк Людмила Владимировна**, доцент кафедры охраны окружающей среды и безопасности жизнедеятельности биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, кандидат геолого-минералогических наук. E-mail: grebenuk2@yandex.ru

**Губатенко Валерий Петрович**, профессор кафедры геофизики геологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, доктор физико-математических наук. E-mail: gubatenkovp@gmail.com

**Данилов Владимир Анатольевич**, доцент кафедры геоморфологии и геоэкологии географического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, кандидат географических наук. E-mail: kohavi@yandex.ru

**Джонни Симон Нидалович**, инженер 2 категории отдела мониторинга сейсмогеологических моделей Филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть» в г. Тюмени (г. Когалым). E-mail: DzhoNiSN@nipi.ws.lukoil.com

**Джурраев Рахмат Эргашевич**, ведущий гидрогеолог ГП «Ферганская гидрогеологическая экспедиция», пос. Куканбай (Республика Узбекистан). E-mail: djuraevr@inbox.ru

**Ерёмин Виталий Николаевич**, заведующий кафедрой геоэкологии геологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, кандидат геолого-минералогических наук. E-mail: dekanatgeol@sgu.ru

**Жураев Музаффар Рахматович**, старший научный сотрудник Государственного предприятия «Институт гидрогеологии и инженерной геологии» («Институт ГИДРОИНГЕО») Государственного комитета по геологии и минеральным ресурсам Республики Узбекистан (Госкомгеологии РУз), г. Ташкент (Республика Узбекистан). E-mail: juraevm@inbox.ru

**Заботина Елена Сергеевна**, оператор российского концерна «Дубки» (г. Саратов). E-mail: sanu.mitrofanov@yandex.ru

**Затонский Виктор Александрович**, аспирант кафедры физической географии и ландшафтной экологии географического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: viktorzatonский@yandex.ru

**Конопацкова Ольга Михайловна**, профессор кафедры факультетской хирургии Саратовского государственного университета имени В. И. Разумовского, доктор медицинских наук. E-mail: meduniv@sgmu.ru

**Кочеткова Елена Сергеевна**, инженер лаборатории геоинформатики и тематического картографирования Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: esk-20@yandex.ru

**Лисман Юлия Александровна**, аспирант кафедры физической географии и ландшафтной экологии географического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: Julja-lisman@rambler.ru

**Логонова Марина Павловна**, доцент кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых геологического факультета Саратовского государ-

ственного университета имени Н. Г. Чернышевского, кандидат геолого-минералогических наук. E-mail: mp.loginova@mail.ru

**Маврин Константин Алексеевич**, профессор кафедры петрографии и минералогии геологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, доктор геолого-минералогических наук. E-mail: KAM-1934@rambler.ru

**Макаров Владимир Зиновьевич**, профессор кафедры физической географии и ландшафтной экологии географического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, доктор географических наук. E-mail: makarovvz@rambler.ru

**Миних Алла Васильевна**, ведущий научный сотрудник Отделения геологии НИИ естественных наук Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, кандидат геолого-минералогических наук. E-mail: a.v.minih@mail.ru

**Миних Максим Георгиевич**, руководитель Отделения геологии НИИ естественных наук Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, доктор геолого-минералогических наук. E-mail: minihmg@info.sgu.ru

**Молочко Анна Вячеславовна**, доцент кафедры геоморфологии и геоэкологии географического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, кандидат географических наук. E-mail: farik26@yandex.ru

**Морозова Светлана Владимировна**, доцент кафедры метеорологии и климатологии географического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, кандидат географических наук. E-mail: kafmeteo@sgu.ru

**Пичугина Наталья Валентиновна**, доцент кафедры физической географии и ландшафтной экологии географического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, кандидат географических наук. E-mail: pichuginan@mail.ru

**Пятницына Татьяна Валериевна**, инженер 1 категории лаборатории геоинформатики и тематического картографирования Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: geograf-nauka@yandex.ru

**Решетников Михаил Владимирович**, заведующий лабораторией геоэкологии и экологической геохимии геологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, кандидат географических наук. E-mail: rrmv85@list.ru

**Суровцева Ольга Владимировна**, ассистент кафедры физической географии и ландшафтной экологии географического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, доктор географических наук. E-mail: fiz-kafedra@yandex.ru

**Уставщикова Светлана Владимировна**, доцент кафедры экономической и социальной географии географического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, кандидат географических наук. E-mail: sveus1@yandex.ru

**Федоров Алексей Васильевич**, заведующий лабораторией геоинформатики и тематического картографирования Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: geograf-nauka@yandex.ru

**Фомина Оксана Владимировна**, студентка кафедры геоэкологии геологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: dekanatgeol@sgu.ru

**Хассан Махмуд Гомаа**, аспирант кафедры гидрогеологии и инженерной геологии геологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: mahgebaly1981@yahoo.com

**Хворостухин Дмитрий Павлович**, аспирант кафедры геоморфологии и геоэкологии географического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: khvorostukhin89@mail.ru

**Чумаченко Алексей Николаевич**, профессор кафедры геоморфологии и геоэкологии географического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, доктор географических наук. E-mail: gemorfoloz-sgu@rambler.ru

**Чумаченко Надежда Алексеевна**, старший преподаватель кафедры физической географии и ландшафтной экологии географического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: fiz-kafedra@yandex.ru

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Agzamova Inobat Abdurahidovna**, head of the Department of Hydrogeology and Geophysics, Tashkent State Technical University (Republic of Uzbekistan). E-mail: hydrouz@rambler.ru

**Andrushkevich Stanislav Olegovich**, Saratov State University, geological faculty, department of engineering geology and hydrogeology, student. E-mail: kpf.stalker@mail.ru

**Astarkin Sergey Vasilievich**, «KolgalimNIPneft» branch of LLC «Lukoil-Engineering», department of operational analysis and monitoring of geological exploration of Khanty-Mansi autonomous district (Tyumen), leading specialist. E-mail: sv.astarkin@rambler.ru

**Chumachenko Aleksey Nikolaevich**, Saratov State University, geographical faculty, department of geomorphology and geoecology, professor, head of the department. E-mail: gemorolog-sgu@rambler.ru

**Chumachenko Nadezhda Alekseevna**, Saratov State University, geographical faculty, department of physical geography and landscape ecology, senior teacher. E-mail: fiz-kafedra@yandex.ru

**Danilov Vladimir Anatolievich**, Saratov State University, geographical faculty, department of geomorphology and geoecology, associate professor. E-mail: kohavi@yandex.ru

**Djuraev Rahmat Ergashevich**, leading hydrogeologist SE «Fergana hydrogeological expedition» (Republic of Uzbekistan). E-mail: djuraevr@inbox.ru

**Dzhoni Simon Nidalovich**, engineer of second category, «KolgalimNIPneft» branch of LLC «Lukoil-Engineering», department of seismological models monitoring of Khanty-Mansi autonomous district (Tyumen), leading specialist. E-mail: DzhoniSN@nipi.ws.lukoil.com

**Eremin Vitaliy Nicolaevich**, Saratov State University, geological faculty, department of geoecology, senior staff scientist, head of the department. E-mail: dekanatgeol@sgu.ru

**Fedorov Aleksey Vasilievich**, Saratov State University, laboratory of geoinformatics and thematic mapping, head of the laboratory. E-mail: geograf-nauka@yandex.ru

**Fomina Oksana Vladimirovna**, Saratov State University, geological faculty, department of geoecology, student. E-mail: dekanatgeol@sgu.ru

**Goncharenko Olga Pavlovna**, Saratov State University, geological faculty, department of mineralogy and petrography, professor, head of department. E-mail: GoncharenkoOP@mail.ru

**Grebenuk Lyudmila Vladimirovna**, Saratov State University, biological faculty, department of nature protect and personal and social safety, associate professor. E-mail: grebenuk2@yandex.ru

**Gubatenko Valeriy Petrovich**, Saratov State University, geological faculty, department of geophysics, professor. E-mail: gubatenkovp@gmail.com

**Hassan Makhmud Goma**, Saratov State University, geological faculty, department of hydrogeology and engineering geology, post-graduate student. E-mail: mahgebaly1981@yahoo.com

**Juraev Muzaffar Rahmatovich**, senior researcher at the State Enterprise «Institute of Hydrogeology and Engineering Geology» («Institute GIDROINGEO») of the State Committee on Geology and Mineral Resources of the Republic of Uzbekistan ( Uzbek State Committee for Geology). E-mail: juraevm@inbox.ru

**Khvorostukhin Dmitriy Pavlovich**, Saratov State University, geographical faculty, department of geomorphology and geoecology, post-graduate student. E-mail: khvorostukhin89@mail.ru

**Kochetkova Elena Sergeevna**, Saratov State University, Saratov State University, laboratory of geoinformatics and thematic mapping, engineer. E-mail: esk-20@yandex.ru

**Konopatskova Olga Mikhaylovna**, Saratov State Medical University, department of faculty's surgery, professor. E-mail: meduniv@sgmu.ru.

**Lisman Yulia Aleksandrovna**, Saratov State University, geographical faculty, department of physical geography and landscape ecology, post-graduate student. E-mail: Julja-lisman@rambler.ru

**Loginova Marina Pavlovna**, Saratov State University, geological faculty, department of geology and geochemistry of fossil fuel, associate professor. E-mail: mp.loginova@mail.ru

**Makarov Vladimir Zinovievich**, Saratov State University, geographical faculty, department of physical geography and landscape ecology, professor, head of the department. E-mail: makarovvz@rambler.ru

**Mavrin Konstantin Alekseevich**, Saratov State University, geographical faculty, department of petrography and mineralogy, professor. E-mail: KAM-1934@rambler.ru

**Minikh Alla Vasilievna**, Saratov State University, Scientific research institute of natural sciences, department of geology, senior researcher. E-mail: a.v.minih@mail.ru

**Minikh Maxim Georgievich**, Saratov State University, Scientific research institute of natural sciences, department of geology, head of department, professor. E-mail: minihmg@info.sgu.ru

**Molochko Anna Vyacheslavovna**, Saratov State University, geographical faculty, department of geomorphology and geoecology, associate professor. E-mail: farik26@yandex.ru

**Morozova Svetlana Vladimirovna**, Saratov State University, geographical faculty, department of meteorology and climatology, associate professor. E-mail: kafmeteo@sgu.ru

**Pichugina Natalia Valentinovna**, Saratov State University, geographical faculty, department of physical geography and landscape ecology, associate professor. E-mail: pichuginan@mail.ru

**Pyatnizyna Tatiana Valerievna**, Saratov State University, Saratov State University, laboratory of geoinformatics and thematic mapping, engineer of first category. E-mail: geograf-nauka@yandex.ru

**Reshetnikov Mikhail Vladimirovich**, Saratov State University, geological faculty, laboratory of geoecology and ecological geochemistry, head of laboratory. E-mail: rmv85@list.ru

**Surovtseva Olga Vladimirovna**, Saratov State University, geographical faculty, department of physical geography and landscape ecology, assistant. E-mail: fiz-kafedra@yandex.ru

**Ustavshchikova Svetlana Vladimirovna**, Saratov State University, geographical faculty, department of economical and social geography, associate professor. E-mail: sveus1@yandex.ru

**Zabotina Elena Sergeevna**, operator of Russian concern «Dubki» (Saratov). E-mail: sany.mitrofanov@yandex.ru

**Zatonskiy Viktor Aleksandrovich**, Saratov State University, geographical faculty, department of physical geography and landscape ecology, post-graduate student. E-mail: viktorzatonsky@yandex.ru

**Vanshin Yuriy Vasilievich**, Saratov State University, geological faculty, department of hydrogeology and engineering geology, professor. E-mail: vanshin@sgu.ru