



# ГЕОГРАФИЯ

УДК 911.7

## ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДОЛИН ГОРОДА САРАТОВА И МОДЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА НА ПРАВОБЕРЕЖЬЕ НИЖНЕЙ ВОЛГИ

А.Н. Башкатов

Саратовский государственный университет,  
ОГИС ПРЦНИТ  
E-mail: albion@info.sgu.ru

В статье показаны результаты сравнительного анализа топологии долинных комплексов в пределах модельного полигона, расположенного на восточном макросклоне Приволжской возвышенности. Сопоставление урбанизированных и не урбанизированных территорий позволило выявить ландшафтные аналоги городским долинам. Полученные результаты дают основания для интерполяции геодинамических параметров эрозионной сети в целях выработки практических рекомендаций по экологической оптимизации градопланировочных решений.

**Ключевые слова:** долинные комплексы, топологический анализ, урбанизированная территория, экология города, Нижняя Волга.

### The Topological Analysis of Valleys of a City of Saratov and Modeling Range on a Right Bank of the Bottom Volga

A.N. Bashkatov

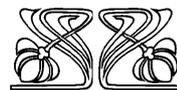
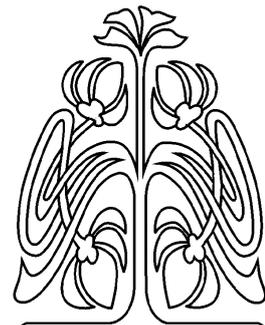
In article results of the comparative analysis of topology valleys complexes within the modeling range located on east macro-slope of the Privolzhsky height are shown. Comparison of the urbanized and not urbanized territories has allowed to reveal landscape analogs city valleys. The received results give the grounds for interpolation of geodynamic parameters of an erosive network with a view of development of practical recommendations about ecological optimization city planning decisions.

**Key words:** valley complexes, topological analysis, urbanized territory, city ecology, Bottom Volga.

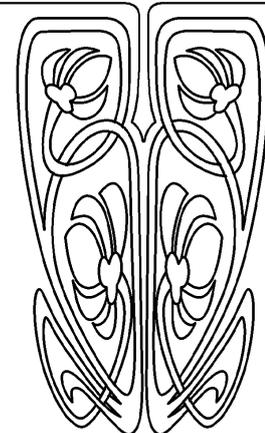
### Постановка проблемы

Долинная сеть выполняет полярные экологические функции в ландшафтно-экологической системе г. Саратова. С одной стороны, долины малых рек и крупных овражно-балочных понижений представляют собой территории с добавочным увлажнением, на которых в условиях интразонального сухостепного ландшафта приволжских котловин ранее произрастали байрачные леса и пойменные луга. Это обусловило интенсивное сельскохозяйственное использование долин по окраинам города. С другой стороны, эрозионная сеть препятствовала транспортному строительству, ухудшала инженерно-геологические характеристики территории. В понижениях рельефа накапливались строительные и бытовые отходы, что привело к загрязнению поверхностных вод и образованию геохимических аномалий [1].

Причиной возникновения проблем является недостаточный учет всех структурно-функциональных свойств эрозионной сети. Градостроителям непонятно, как на практике можно использовать долины в экологически позитивных целях, какие функции по массоэнергопереносу выполняет русловой сток. Очевидными являются лишь фактор разрушения грунтов и потеря полезной площади. Поэтому исторически с оврагами на территории городов боролись или сваливали в них мусор. Как правило, ситуация с санитарно-гигиеническим состоянием,



НАУЧНЫЙ  
ОТДЕЛ





водным балансом, дефицитом рекреационных пространств резко ухудшалась. Эрозионная опасность в городах не играет столь заметной роли, как в сельской местности. Прежде всего, обращает на себя внимание проблема ухудшения поверхностного и грунтового стока вследствие засыпки естественных дренажей, а также взаимосвязь долинной сети с тектоническими процессами, обуславливающими систематическое разрушение зданий и коммуникаций в так называемых геопатогенных зонах. В свою очередь, исследование геолого-геоморфологической структуры эрозионной сети на городской территории затруднено вследствие значительных изменений в долинах, связанных с градостроительной деятельностью. Мелкие элементы долинных комплексов засыпаны и застроены, гидрологический режим водотоков нарушен, стратиграфические разрезы закрыты. Поэтому целесообразно изучать эрозионную сеть городов в совокупности с аналогичными долинными системами, расположенными вне города, но в однородном физико-географическом и структурно-геоморфологическом районе [2].

#### **Обоснование выбора модельного полигона, состоящего из урбанизированного и не урбанизированного участков**

Большая часть городов расположена по берегам рек и морей, в местах впадения крупных или мелких притоков. Побережье формируется как ландшафтный экотон, переходная структура между крупными геологическими и географическими элементами и обладает своеобразными свойствами на значительном своем протяжении.

Для анализа эрозионной сети Саратова был выбран полигон в пределах восточного макросклона Приволжской возвышенности от широты Саратова до границ с Волгоградской областью. В указанных границах восточный макросклон протянут почти на 100 км полосой шириной до 20 км. Его площадь составляет около 1000 км<sup>2</sup>. Многоступенчатый рельеф с перепадами от 270 до 20 м абс. высоты представлен несколькими поверхностями выравнивания от палеогенового до плейстоценового возраста. Рельеф чрезвычайно расчленен и осложнен многочисленными оврагами, балками и оползнями. Литогенная основа также разнообразна и представлена породами верхнемелового, палеогенового и четвертичного возрастов.

Исследуемая территория отличается ритмичностью ландшафтной структуры, что проявляется в виде чередования в пределах макросклона плоских водоразделов и долинообразных понижений широтного простирания. Водоразделы длиной до 3 км и шириной от нескольких сотен метров до 2 км являются продолжением основной поверхности Приволжской возвышенности и круто обрываются в сторону р. Волги. Их вос-

точные, северные и южные склоны, как правило, осложнены оползнями, значительно расчленены оврагами и промоинами. Со стороны акватории Волги они выглядят как плоские горы с крутыми склонами и традиционно называются «сыртами». Представляется удобным использовать это название для обозначения данных форм рельефа и при географической характеристике территории. Долинообразные понижения сопоставимы по размерам с водоразделами. Их происхождение нельзя в полной мере отнести на счет эрозионных факторов, так как ни размеры гидросети, ни модуль стока территории не позволяют сформировать относительно короткие, но широкие долины. Данные формы рельефа получили историческое название «буераков» [3]. Ритмичное чередование сыртов и буераков наблюдается в северной и южной частях исследуемой территории, что позволяет выделить модельные полигоны, ландшафтная структура которых воспроизводится на аналогичных территориях [4].

Значительная часть (около 2/3) территории Саратова находится в северной части модельного полигона. Долинная сеть города довольно разнообразна, но в целом обнаруживает значительное сходство с долинной сетью полигона.

#### **Применяемые методики изучения эрозионной сети**

Для определения степени риска возникновения эколого-геологических опасностей, связанных с эпигенетической эрозионной сетью, прежде всего, была проанализирована топологическая структура долинных комплексов в пределах модельного полигона, включая сеть долин на урбанизированной территории. Топологическая структура долинной сети, т.е. количество, порядок и длина притоков, имеет важное значение для определения тектонических особенностей территории, истории ее геологического развития, активности эрозионных процессов [5]. В условиях города обнаружить все притоки невозможно, так как многие из них засыпаны, а рельеф выровнен. Тем не менее путем исторической реконструкции удалось установить топологическую структуру долин размерностью выше 2-го порядка по дихотомической классификации В.П. Философова. Основой сравнительного анализа долин на урбанизированном и не урбанизированных участках полигона стала электронная карта топологической структуры долинных комплексов, выполненная на основе топографической карты масштаба 1 : 200 000.

На электронную карту линиями нанесены основные долины и их притоки, обозначенные на топографической карте. Конфигурация долин уточнялась по космоснимку поисковой системы GoogleMars и частично полевыми маршрутами. Длина топологических элементов рассчитывалась



в ГИС-редакторе MapInfo Professional 8.0. Определены также количество и порядок притоков и тип конфигурации долины.

**Сравнительный анализ топологии долинных комплексов**

Всего проанализировано 55 долинных комплексов. Все долины являются правыми притоками реки Волги с максимальной длиной 19 км. Простираение в целом широтное, направление течения восточное, в половине случаев колеблется от северо-восточного до южного. Расположение долин вдоль течения Волги ритмичное, с шагом между устьями примерно 2 км.

Строение долин разнообразное по конфигурации, но весьма схожее по составу основных элементов. Верховья долин, как правило, находятся под крутым уступом платообразного водораздела Волга–Дон и представляют собой распадки на склоне восточной экспозиции. Водотоки примерно в половине случаев начинаются в нижней части распадков с родников, разгружающихся по палеогеновым водоносным горизонтам. В ряде случаев (рр. Даниловка, Елань, Саранка) истоки формируются по ложбинам стока, выходящим на поверхность водораздела. В подступной части русла часто теряются в делювиально-пролювиальном

плеще и вновь открываются в средней части. Средняя часть долин пролегает между отрогами главного водораздела, представляющими собой широтно-ориентированные водоразделы с крутыми боковыми склонами и выходящими к Волге. Склоны водоразделов осложнены многочисленными промоинами и оврагами, выходящими к тальвегу долины или висящими над ступенями поверхностей выравнивания акчагыльского и бакинского возраста. Устья долин узкие, иногда имеют естественные озера, подпруженные прибойными валами. Конусы выноса затоплены Волгоградским водохранилищем, в ряде случаев образующим заливы в устьевых частях долинах.

Морфометрические данные по долинным комплексам исследованной территории представлены в табл. 1.

Коэффициент разветвленности показывает, во сколько раз общая русловая длина превышает длину основного русла, и выражается отношением общей русловой длины к длине основного русла.

Коэффициент эрозии выражает степень развитости оврагов и выражается отношением длины оврагов к общей русловой длине.

По формуле притоков видно количество притоков, впадающих в основное русло и их притоков, а также количество оврагов, впадающих как в основное русло, так и русла притоков.

Таблица 1

Название	Длина, м	Длина с притоками, м	Длина с оврагами, м	Коэффициент разветвленности	Коэффициент эрозии	Количество притоков и оврагов	Тип конфигурации
Даниловский	18900	51530	63140	2,7	0,2	7/6/15	Дуга
Тюрьма	4250	–	5170	1	0,2	0/0/2	Дуга
Белогорский	2250	–	2900	1	0,28	0/0/1	Прямой
Скоробогатов	980	4000	8900	4	1,2	2/0/5	Асимметричное дерево
Коновалов	730	3900	–	5,3	–	2/0/0	Вилка
Можжевельный	950	–	–	1	–	0/0/0	Прямой
Банный	7730	19340	25000	2,5	0,3	5/2/3	Двойное асимметричное дерево
Пустой Меловой	7500	9300	14000	1,2	0,5	2/0/5	Прямой с веерообразной макушкой
Меловая Речка	5150	24740	27220	4,8	0,1	3/3/2	Асимметричное дерево
Трубинская Речка	8500	13680	22480	1,6	0,6	2/0/6	То же
Сухая осина	4100	–	–	1	–	0/0/0	Дуга
Морозовка	14880	20100	29000	1,3	0,4	1/1/6	Прямой с притоками сложной формы
Крутой	2780	–	3900	1	0,4	0/0/1	Вилка
Золотуха	15680	29600	45600	1,8	0,5	1/2/9	Прямой с притоками сложной формы
Каменка	17300	40500	49600	2,3	0,2	5/4/4	То же
Дубовский	12530	–	17950	1	0,4	0/0/3	То же



Продолжение табл. 1

Название	Длина, м	Длина с притоками, м	Длина с оврагами, м	Коэффициент разветвленности	Коэффициент эрозии	Количество притоков и оврагов	Тип конфигурации
Нижний Перелазовский	1320	–	2670	1	1	0/0/1	Вилка
Верхний Перелазовский	1620	–	700	1	0,4	0/0/1	То же
Старичий	1730	–	3000	1	0,7	0/0/1	– // –
Широкий	2700	–	–	1	–	0/0/0	Прямой
Дикий	3100	–	–	1	–	0/0/0	То же
Нижняя Студёнка	5450	7000	8800	1,3	0,2	1/0/2	Прямой с веерообразной макушкой
Верхняя Студёнка	3400	–	10000	1	2	0/0/3	То же
Гремучий	2650	–	4800	1	0,8		Вилка
Большая Мартышка	2250	–	–	1	–	0/0/0	Дуга
Стяговая	4740	14000	24800	3	0,7	2/1/4	Асимметричное дерево
Мартышкин сад	3800	4900	–	1,2	–	1/0/0	Вилка
Елховая	2000	–	4000	1	1	0/0/1	То же
Матвеева	10000	14500	19500	1,4	0,3	1/1/3	Асимметричное дерево
Роша	6600	20500	–	3,1	–	3/0/0	То же
Еланка	6500	10750	–	1,6	–	1/0/0	Вилка
Сосновка нижняя	2600	3900	–	1,5	–	1/0/0	То же
Сосновка верхняя	2700	4000	–	1,5	–	1/0/0	– // –
Мекотная	6300	–	–	1	–	0/0/0	Прямой
Бабановка	5500	7500	9200	1,3	0,2	2/0/2	Прямой с веерообразной макушкой
Белая речка	6500	16600	24700	2,5	0,5	3/4/7	Асимметричное дерево
Есеевка	3600	–	–	1	–	0/0/0	Прямой
Несветаевка	3600	–	–	1	–	0/0/0	То же
Пудовкинский	5500	6100	8000	1,1	0,3	1/0/2	Прямой с веерообразной макушкой
Крутец	3200	–	–	1	–	0/0/0	Прямой
Широкий буерак	9600	–	–	–	–	0/0/0	То же
Формосово	3000	4000	–	1,3	–	1/0/0	Вилка
Калашников	3000	–	–	–	–	–	Прямой
Красный Текстильщик	3600	–	–	–	–	–	То же
Хмелёвка	7350	12800	14000	1,7	0,1	1/0/1	Вилка
Петровка	10600	14000	19000	1,3	0,4	1/0/7	Прямой с веерообразной макушкой
Багаевка	8100	–	13100	1	0,6	0/0/7	Прямой
Березина Речка	14350	32500	45400	2,3	0,4	3/0/5	Асимметричное дерево
Токмаковский	5100	–	6100	1	0,2	0/0/2	Прямой
Залетаевский	5500	11400	–	2	–	2/0/0	Вилка
Мутный Ключ	3600	4600	–	1,3	–	1/0/0	Прямой
Крутенький	3300	4700	–	1,4	–	1/0/0	То же



Окончание табл. 1

Название	Длина, м	Длина с притоками, м	Длина с оврагами, м	Коэффициент разветвленности	Коэффициент эрозии	Количество притоков и оврагов	Тип конфигурации
Кладбищенский	5000	8800	10600	1,7	0,2	1/0/1	Вилка
Белоглинский	5600	7100	–	1,3	–	1/0/0	Прямой
Глебучев	6000	18400	21800	3	0,2	4/0/4	Асимметричное дерево

Общая длина долин 315 270 м.

Общая длина долин с притоками 444 740 м.

Общая длина долин с притоками и впадающими крупными оврагами 565 030 м.

Таким образом, густота эрозионной сети высших порядков на исследованном участке восточного макросклона Приволжской возвышенности составляет около 0,5 км/км<sup>2</sup>. Если учитывать все овраги и крупные промоины, густота овражной сети доходит на отдельных участках до 1 км/км<sup>2</sup> и более, что говорит о сильной и очень сильной овражности полигона в целом.

Разветвленность долин сильно варьирует: от 1 до 5-кратного превышения общей длины долинного комплекса над длиной основного русла от истока до устья. Тем не менее большинство долин имеет коэффициент разветвленности, равный единице, т.е. долины не имеют притоков. Это может свидетельствовать о тектонической обусловленности заложения долины по линии повышенной трещиноватости либо по брахиоскладкам. Наиболее разветвленные долины приурочены к холмистым котловинам.

Овражная эрозия широко представлена в долинах и их притоках, что обусловлено значительным расчленением рельефа и преобладанием легкоразмываемых пород – супесей, лёссовидных суглинков, мергелей. В среднем длина крупных

оврагов составляет 20% к длине долинных комплексов, но может достигать и 100%. Наибольшее число оврагов характерно для участков долин, расположенных непосредственно под уступом макросклона и прилегающих к сыртообразным локальным водоразделам.

Распределение долин по типу конфигурации:

- асимметричное дерево – 9;
- вилообразный – 15;
- прямой – 16;
- дуга – 4;
- двойное асимметричное дерево (вилка с расходящимися развитыми долинами) – 1;
- прямой с веерообразной макушкой – 6;
- прямой с притоками сложной формы – 3;
- прямой с притоками простой формы – 1;

#### Выбор структурных аналогов городских долин на модельном полигоне

Выбор структурных аналогов городских долин на модельном полигоне осуществлялся с учетом следующих факторов:

1. Схожесть топологической структуры и морфометрических характеристик долин.
2. Схожесть геолого-геоморфологической ситуации водосборных бассейнов.

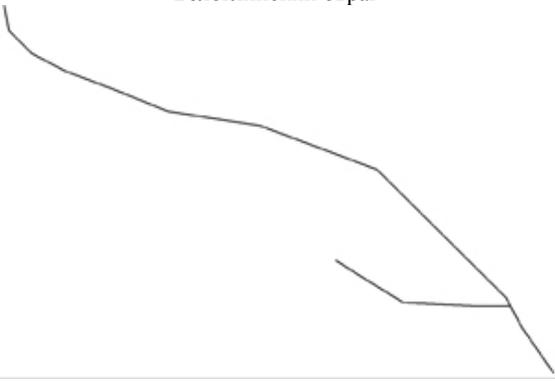
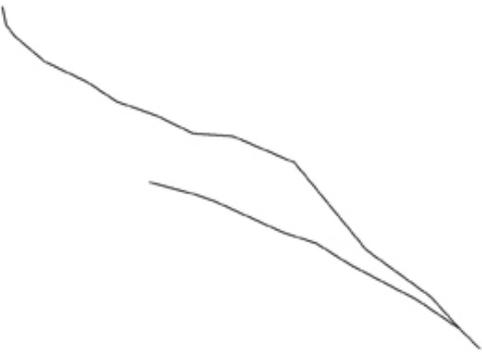
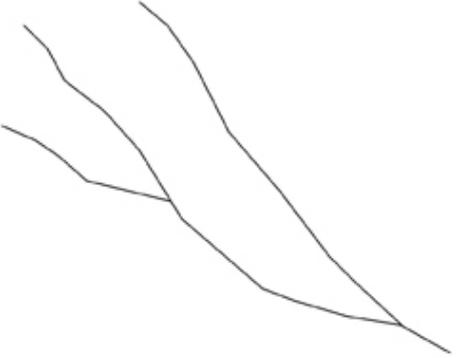
Структурные аналоги представлены в табл. 2.

Таблица 2

Долина на городской территории	Структурный аналог на модельном полигоне
Глебучев овраг	Даниловский овраг

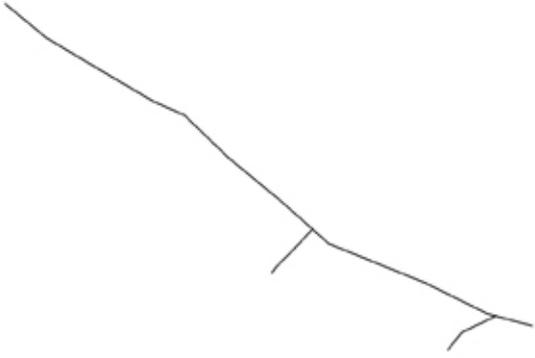
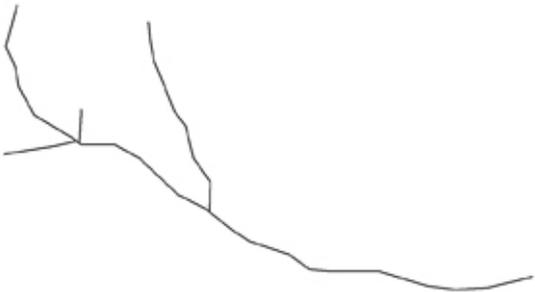
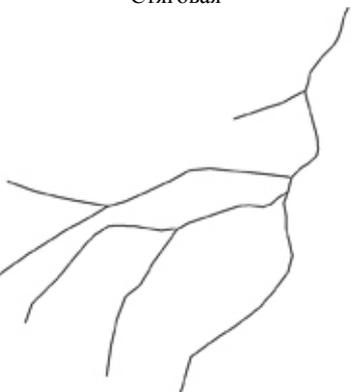


Продолжение табл. 2

Долина на городской территории	Структурный аналог на модельном полигоне
<p data-bbox="347 309 564 340">Белоглинский овраг</p> 	<p data-bbox="938 315 1187 347">Овраг Пустой Меловой</p> 
<p data-bbox="336 741 576 772">Кладбищенский овраг</p> 	<p data-bbox="1007 752 1118 784">Хмелёвка</p> 
<p data-bbox="376 1171 536 1202">Мутный Ключ</p> 	<p data-bbox="967 1171 1158 1202">Трубинская Речка</p> 
<p data-bbox="352 1601 560 1632">Залетаевский овраг</p> 	<p data-bbox="1007 1610 1118 1641">Хмелёвка</p> 



Окончание табл. 2

Долина на городской территории	Структурный аналог на модельном полигоне
<p data-bbox="427 309 635 336">Токмаковский овраг</p> 	<p data-bbox="1034 315 1246 342">Пудовкинский овраг</p> 
<p data-bbox="491 763 571 790">Саранка</p> 	<p data-bbox="1093 757 1189 784">Стяговая</p> 

### Выводы

1. При изучении топологической структуры долинной сети на урбанизированной территории может использоваться метод структурных аналогов. Сущность метода состоит в сопоставлении городских долин, схожих в структурном и ландшафтном отношении с долинами, находящимися в однородных геолого-геоморфологических и физико-географических условиях. С помощью сравнительного анализа возможна реконструкция морфологических и гидрогеологических параметров долинных комплексов на территориях, подвергшихся интенсивному техногенезу.

2. Для нижеволжского участка восточного макросклона Приволжской возвышенности присущи долинные комплексы с асимметричной древовидностью, резким нарастанием первых порядков притоков, широким распространением оврагов. Характерной особенностью долинной сети исследуемой территории является эпигенетическая, «наложенная» на грани тектонических блоков, структура.

### Библиографический список

1. Башкатов А.Н. Овражно-балочная сеть как элемент ландшафтно-экологического каркаса г. Саратова (методологические принципы и историческая реконструкция) // Географические исследования в Саратовском университете / Под ред. Е.А. Полянской. Саратов, 2002. С. 97–107.
2. Макаров В.З., Тарасова Л.Г., Чумаченко А.Н. и др. Историческая градозоология: концептуальная основа, методология и практическая реализация на примере Саратова // Изв. Саратов. ун-та. 2001. Т. 1, вып. 1. С. 89–101.
3. Минх А.Н. Историко-географический словарь Саратовской губернии. Саратов, 1901. Т. 1. С. 94.
4. Башкатов А.Н. К познанию естественных степных ландшафтов восточного макросклона Приволжской возвышенности // Развитие физической географии и ландшафтной экологии в Саратовском университете. Саратов, 2005. С. 119–125.
5. Философов В.П. О значении порядков долин и водораздельных линий при геолого-геоморфологических исследованиях // Вопр. морфометрии. Саратов, 1967. Вып. 2.



УДК 502.172 (430) |18/19|

## ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ И ЗНАЧЕНИЕ ПЕРВЫХ КРУПНЫХ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ГЕРМАНИИ В XIX–НАЧАЛЕ XX ВЕКА

**А.С. Мукало**

Саратовский государственный университет,  
кафедра физической географии и ландшафтной экологии  
E-mail: anastasia-mukalo@yandex.ru

В XIX в. под влиянием романтизма, потребности в национальном определении и исходя из общественно-экономической ситуации в объединяющейся Германии были созданы первые относительно крупные по площади особо охраняемые природные территории (ООПТ), причем еще до создания национальных парков в США и до оформления национальной программы охраны природы. В статье рассматривается несколько охраняемых территорий того времени, которые по своим задачам и организации максимально напоминают современные. Примечательна для Германии история их развития как ООПТ – благодаря частной, общественной и государственной инициативам.

**Ключевые слова:** Германия, XIX в., охрана природы, особо охраняемые природные территории, природные парки, Бамбергская роща, Драхенфельс (Семигорье), Тойфельсмауэр (Гарц), Люнебургская пустошь, общественные природоохранные союзы.

### The Development History of and Value of the First Large Protected Areas in Germany in the 19th – the Beginning 20th Centuries

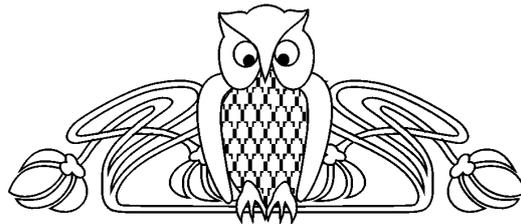
**A.S. Mukalo**

The first, rather large protected areas in Germany were created in 19th century under the influence of romanticism, requirements to national definition and proceeding from a socioeconomic situation. It occurred before national parks in USA were created and the German nature protection program formed. The article presents those of them which as much as possible resemble modern nature parks in their problems and organization. The history of their development as protected areas is characteristic for Germany thanks to private, public and state initiatives.

**Key words:** Germany, 19th century, nature conservation, nature protection, protected areas, nature parks, Bamberg grove, Drachenfels (Siebengebirge), Devils Wall (Harz), Lüneburg heath, the nature protection unions.

### Введение

В Германии исторически сложилось несколько категорий особо охраняемых природных территорий (ООПТ) – наряду с ландшафтными заповедниками и памятниками природы, изначально получившими свое развитие в этой стране, в середине XIX в. проявилась тенденция к созданию крупных по площади охраняемых территорий. В XX в. эти идеи были претворены в жизнь, благодаря чему появились новые категории ООПТ по



образцу иностранных (национальные и природные парки). После объединения ФРГ и ГДР стали формироваться ООПТ, входящие в общеевропейскую и международную системы (биосферные резерваты, участки, охраняемые по Рамсарской конвенции, Natura 2000 и т.п.). В настоящее время в Германии сеть ООПТ представляют 14 национальных парков, 14 биосферных заповедников, 94 природных парка, несколько десятков тысяч памятников природы и ООПТ регионального значения. Целью данной статьи является подробное изучение развития первых природных парков в Германии и их роли в дальнейшей истории природоохранной деятельности.

Ценность природного ландшафта в Европе осознали приблизительно спустя тысячу лет после его исчезновения [1]. Поэтому, несмотря на громкие заявления разнообразных общественных объединений и государственных ведомств, охрана природных ландшафтов в Германии свелась к охране культурного ландшафта, т.е. территорий, которые претерпели разной степени антропогенные изменения в давнем или недавнем прошлом. Этот аспект, как правило, всегда надо иметь в виду, когда речь идет о каких-либо ООПТ в Европе. Неудивительно, что большая часть крупных ООПТ Германии имеет комплексный характер: наряду с природными особенностями внимание ученых и туристов привлекают исторические памятники.

Впрочем, разрозненные свидетельства об охране природы на территории современной Германии восходят к давним временам. Датой первого охранного постановления относительно природного объекта в Германии называют и XVIII в. (1739 г. – распоряжение об охране дюн на о. Сыльт) [2], и XVII в. (сталактитовая пещера под Рюбеландом, указ Рудольфа Августа, герцога брауншвайгского и люнебургского в 1668 г.) [2, 3], и XIII в. (самое старое положение об охране лесов было издано в 1274 г. герцогом Альбрехтом Брауншвайгским) [4].

Согласно общепринятым в академической среде спискам основных хронологических событий в области охраны природы в Германии [2, 5, 6] к одним из достаточно крупных охраняемых территорий в этой стране, появившихся в XIX в. и понимаемых как ООПТ в современном смысле, относятся Бамбергская роща, гора Драхенфельс под Бонном, останцы Тойфельсмауэр в Гарце. Считалось, что они по мере возможности служат целям естественно-научных изысканий, просвещению и воспитанию народного духа, поэтому



при некотором уровне «закрытости» и очевидном ограничении в хозяйственном использовании в них допускались (и даже приветствовались) посещения отдыхающих и любопытствующих.

Если рассматривать и те территории, которые в то время относились к Германскому Союзу (1815–1866 гг.) и Германской империи (1871–1918 гг.), то стоит упомянуть богемские леса графов Букой в Гратцене (1838 г.) и леса князя Шварценберг близ Кубаны (1858 г.) [7]. Леса Келлервальд в Гессене и меловой уступ Кёнигштуль на острове Рюген как ООПТ в XIX–начале XX в. менее похожи на природные или национальные парки в современном представлении. Область Келлервальд была охотничьей территорией князей фон Вальдек, которые в 1897 г. соорудили решетчатую ограду вокруг некоторых участков леса главным образом для того, чтобы защитить популяции диких животных [8]. В 1935 г. площадь в пределах решетки расширилась. В 1952–1990 гг. это был заповедник. После многолетних требований природоохранных групп в 2004 г. был основан национальный парк Келлервальд-Эдерзее, задачей которого является сохранение букового леса [9]. Меловые скалы, эрратические валуны на побережье и леса на острове Рюген, в свою очередь, были очень популярны среди путешественников и любителей красот природы в XIX в. Однако никаких охранных мероприятий относительно них не проводилось. Естественные обнажения мела издавна разрабатывались. И только когда в 1926 г. одному из меловых карьеров, где разработки были прекращены, угрожало их возобновление, побережье к северу от Засница было поставлено под охрану и объявлено заповедником, а с 1990 г. этот участок стал национальным парком [10].

Долгая история создания природных парков Семигорье и Люнебургская пустошь очень показательна: были задействованы широкие народные массы, частная инициатива, общественные организации, отдельные важные государственные лица. Впервые в таких масштабах применялись механизмы отчуждения земель (экспроприация и выкуп участков), которые позднее найдут более широкое применение. Правда, до сих пор нет однозначной оценки их эффективности, и в законах приходится прописывать оба варианта: государственную и частную собственность. Для сравнения, признание заповедника Плагефенн, находящегося на территории современного биосферного заповедника Шорфхайде-Хорин, заняло всего три года (1904–1907 гг.). По сути, после выхода программной работы Гюго Конвентца в 1904 г. и создания Прусской государственной комиссии по охране памятников природы, оформление объекта как ООПТ свелось к подаче заявки в министерство по рекомендованной форме [11].

Формирование относительно крупных по площади ООПТ в Германии фактически началось задолго до создания первого национального парка (1872 г.) и охраняемой территории (1864 г.) в

США, по сути, еще до создания более-менее адекватной программтики движения (т.е. теории): до выхода в печать первых работ по охране природы «Об отношении современного общества к природе» (1880 г.) и «Охрана природного и культурного наследия родины» (1897 г.) Эрнста Рудорффа или такой базовой книги как «Угроза памятникам природы и предложения по их сохранению» (1904 г.) Гюго Конвентца [12]. Парадоксально то, что именно на США ссылались в конце XIX–начале XX в. все активные общественные деятели в области охраны природы. Разумеется, примером служили, прежде всего, системный подход к организации и масштаб деятельности: работа идет на государственном уровне, площади парков огромны для Европы XIX в. («Самый большой, Йеллоустонский национальный парк, имеет площадь 8671 кв. км, т.е. больше, чем великие герцогства Гессен или Ольденбург» [12, с. 185]).

Тем самым, конкретная история развития Бамбергской роши, Драхенфельса в Семигорье, Тойфельсмауэра и Люнебургской пустоши как охраняемых территорий в XIX–начале XX в. представляет определенный интерес. В любом случае, история этих объектов как ООПТ все-таки старше, чем прописанные в законах понятия «национальный парк» или «охраняемый ландшафт». Этот феномен связан со сложившейся в первой половине XIX в. в Европе общественно-культурной обстановкой, в частности с идейным и культурно-историческим течением романтизм.

### Романтизм

Романтизм утверждает культ природы, чувств и естественного в человеке в противовес эпохе Просвещения с культом разума [13, 14]. Так что неудивительно, что в Германии среди отцов-основателей природоохранных движений так много людей творческих: поэтов, писателей, музыкантов, причем известных, достигших признания. В период расцвета литературы, музыки и живописи в XIX в. именно они оказались носителями идей романтизма и движущей силой по претворению их в жизнь. Романтизм, историзм и, прежде всего, натурфилософия создали эстетическую необходимость в природе, интерес к ней и желание ее сохранить в неизменном виде.

И в США, и в Германии дополнительным стимулом к созданию ООПТ стала потребность в национальном самоопределении, что неудивительно, если вспомнить историю этих стран [15]. В период формирования единой Германии с соответствующим культурным и промышленно-экономическим подъемом сама мысль о том, что природа – неотъемлемая часть страны, родины и поэтому подлежит охране, была новаторской [16]. В 1854 г. культуролог и один из самых консервативных публицистов своего времени Вильгельм Хайнрих Риль (1823–1897) обозначил как социально-политическую задачу охрану лесов: «В



наших лесных деревнях еще сохранился уклад той естественной жизни в гармонии с природой. И не только лес, но и песчаные дюны, болота, пустоши, скалы, ледники – все это необходимое дополнение к полям. Остается только радоваться, что подобная красота сохранилась в нашей стране, она может служить источником народной силы и сознания. Лес необходим не только для отопления наших печей зимой, но и для биения пульса народа, чтоб Германия оставалась самой собой» [17, с. 359].

Позднее от восхищения могучей всемогущей природой в эпоху романтизма человек переходит к осознанию ее беззащитности и хрупкости перед лицом разрушительного прогресса. Интенсивное развитие сельского хозяйства, мелиорация, сооружение плотин и регулирование течения рек, осушение болот, рационализация лесного хозяйства, строительство новых транспортных путей и рост урбанизации в эпоху Бисмарка преобразили разнообразными культурными ландшафты в однородное пространство, служащее людям. Следствием этого стали экологическое и эстетическое обеднение и деградация окружающей среды. Гуманистические идеалы вступили в конфликт с прозаической повседневностью и духовным кризисом буржуазного общества, нацеленного в первую очередь на материальные блага, а не на духовный рост. Херманн Лёнс (1866–1914), один из основателей природоохранного движения в Нижней Саксонии, критиковал скучный безрадостный ландшафт страны, оказывающий, по его мнению, деградирующее воздействие на нацию: «Движение по охране природы должно стать силой, такой силой, которая должна заставить считаться с собой промышленность, торговлю, транспорт, сельское и лесное хозяйство. Не надо бояться упреков, что мы мечтатели, реакционеры, враги прогресса или люди без практического взгляда на жизнь.<...> Охрана природы преподносится как чисто естественнонаучное движение, но это не так, напротив – это и борьба за здоровое сохранение немецкой нации, за силу и процветание. Убивать природу – это все равно что самоубийство» [18, с. 13].

Интерес в эпоху романтизма к фольклору, истории и этнографии, а также мысли о том, что одна из целей охраны природы – формирование некоего «стержня» государства и сохранение нации, постепенно привели к тому, что в обществе активно заговорили об улучшении и очищении нации, о ее оздоровлении. Общеизвестно, к чему они привели в Германии.

Рассмотрим историю создания первых охраняемых территорий Германии.

### **Бамбергская роща**

Бамбергская роща, пойменный лес в долине Майна, закреплена в правах ООПТ указом курфюрста баварского и пфальцского Макса IV в 1803 г. [19]. Территория заливных лугов с XIV в. использовалась как сельскохозяйственные угодья.

До передачи территории под застройку это место имело прозвище «У семи рек», так как здесь протекало много небольших боковых рукавов Регница, на которых работали многочисленные мельницы. Роща расположена, как и старая часть города Бамберг, на острове, который ограничивается на востоке правым, а на западе левым рукавом Регница, и состоит из двух участков [20]. Ее северную часть в 1803 г. Штефан Фрайхерр фон Штенгель по указу курфюрста превратил в так называемый народный парк (по культурно-исторической классификации) по примеру Английского парка в Мюнхене – с павильонами, памятниками, аллеями лип и тополей. Более крупную южную часть в 1825–1851 гг. постепенно выкупил город и преобразовал в ландшафтный парк, затем сюда перенесли ботанический сад. С 1870 г. роща находится во владении г. Бамберг. Сейчас это излюбленное место прогулок горожан. С 1975 г. роща находится в списке памятников г. Бамберг как старейший в Баварии городской парк, а с 2001 г. имеет статус охраняемого ландшафта европейского значения, отличающегося богатым разнообразием жуков и насекомых [21].

### **Гора Драхенфельс**

Гора Драхенфельс (321 м) – самая невысокая в Семигорье, маленьком природном парке (охраняются в первую очередь леса) (рис. 1), расположенном на правом берегу Рейна южнее Бонна, споры о преобразовании которого в национальный парк не утихают. По легенде о Нибелунгах под уступом горы Зигфрид убил дракона (отсюда и название – буквально «Драконья скала»). В настоящее время на горе Драхенфельс, помимо разрушенной крепости – популярной достопримечательности, находится Музей истории природоохранной деятельности в Германии.

Уже римляне добывали трахит под вершиной Драхенфельса в разломе, узнаваемом и сегодня. В 1248 г., когда началось строительство Кёльнского собора, там была открыта каменоломня. В 1634 г. крепость на горе была разрушена в ходе военных действий, а ее остатки местные жители постепенно разбирали на стройматериалы, пока не возникла опасность того, что руины крепости обрушатся. К концу XVIII в. Семигорье было значительно обезлесено и заросло кустарником. С туристической точки зрения Семигорье под Бонном было важным объектом в Рейнском регионе, оно описывалось в путеводителях с 1784 г. После побед над Наполеоном и Венского конгресса (1815) Рейн начал символизировать свободу немецкого народа, на Драхенфельсе стали проходить экскурсии, военные торжества, патриотические праздники, спортивные и студенческие мероприятия; место начинают посещать иностранные туристы [22].

С 1823 г. начались обширные ремонтные работы в Кёльнском соборе, которые были прерваны (в очередной раз) на время оккупации



Рис. 1. Семигорье (фотография А.С. Мукало, 2009 г.)

французами. Самой большой проблемой было приобретение стройматериала, который соответствовал бы как техническим, так и художественным потребностям. Альтернатив Драхенфельсу практически не имелось. Бургомистр близлежащего города Кёнигсвинтер Шефер, по совместительству совладелец участка, направил сообщение Королевскому правительству в Кельн и предложил объект для покупки. Правительство сочло 8 тыс. талеров слишком большой ценой. Тогда Шефер в 1827 г. продал гору профсоюзу каменотесов, обеспечив тем самым рабочими местами город и материалом стройку века [22]. Общественность пришла в возмущение, пресса бурлила. Из Берлинских газет король также узнал о творящемся на Рейне «вандализме». Уже через два дня наследный принц направил письмо верховному президенту фон Ингерслебену в Кобленц с просьбой «противодействовать бесчинствам разрушения таких исторических памятников, которые вызваны только корыстолюбием и жадной наживой» и заверениями, что в финансовом отношении в покупке Драхенфельса готова участвовать семья Гогенцоллерн [23, с. 59]. Отдельно король Фридрих Вильгельм III запросил справку у Кёльнского начальника окружного управления Делиуса, который считал, что даже если Шефер хотел бы оставить руину в неприкосновенности, гарантией сохранности Драхенфельса на длительный срок может быть только покупка участка [23]. Пока шел обмен этой корреспонденцией, разработка горной породы бодро продвигалась.

Во время работ в мае 1828 г. обрушился кусок стены замка, расположенного выше по склону горы. Это дало повод правительству для общего запрета на разработки горной породы. Некоторые исследователи, однако, склонны считать, что тут мерилom законности служила полицейская точка зрения, а не мотивы охраны исторических памятников или природы [24].

Правительству не хотелось платить явно завышенную цену за гору. Таким образом, король решил, наконец, по политическим причинам со ссылкой на беспорядки в Рейнланде обеспечить охрану Драхенфельса посредством экспроприации. Ряд авторов считают именно дату каби-

нетского указа «О требованиях общей безопасности» от 23 мая 1829 г. началом охраны утеса Драхенфельс [5, 25]. Как оказалось, спокойствие на гор. Драхенфельс вследствие этого вовсе не наступило, так как рабочие указы проигнорировали. В конце концов во время взрывных работ обрушилась еще часть крепости. По некоторым источникам, произошли кровопролитные столкновения каменотесов, боящихся потерять работу, с жандармами и энтузиастами-«фанатиками охраны природы» [23, 26].

Пока представители профсоюза каменщиков писали жалобы во все возможные инстанции, ушлые предприниматели продавали «входные билеты на Драхенфельс» и построили на вершине маленький трактир, а позднее и гостиницу. Разразилась маленькая «война» с правительством, которая подпитывалась негодованием населения по поводу платы за вход. Смерть одного из начальников сообщества каменотесов так сильно ослабила профсоюз, что вопрос о владении горой со временем разрешился. Наследники Драхенфельса и бывшие члены профсоюза продали его в 1836 г. государству за умеренную цену [22]. Таким образом, ряд авторов признают датой начала охраны Драхенфельса 1836 г. [2, 6, 27].

Драхенфельс стал первым комплексным ансамблем, состоящим из архитектурного памятника и его природного окружения, который удалось изъять из хозяйственного использования и оставить – в духе романтизма – как наглядное свидетельство прошлого. Иными словами, в обществе уже созрела готовность к изъятию объектов из хозяйственного пользования, но это еще не было организованным движением.

В 1870–1880-е гг. спрос на базальтовый стройматериал опять поднялся, и соседние с Драхенфельсом горы были подвержены чрезмерной эксплуатации. Перед лицом надвигающегося очевидного разрушения в 1886 г. боннский адвокат Хумбройх обратился с письмом к королевской семье. Оно замечательно тем, что в нем впервые определенно говорится об охране природы и ландшафта: «Если считается обязанностью охранять старинные созданные человеческой рукой произведения, башни, руины замка <...>, то красоты



нашей природы, к чему относится в первую очередь Семигорье, имеют гораздо большее право на почтительное бережное обращение, на охрану от разрушения и опустошения» [28, с. 132]. Тогда же он организовал Союз по спасению Семигорья, работа которого нашла большую поддержку общественности. Решающая помощь, однако, пришла со стороны наследной принцессы Фридерики, которая устроила в Берлине такой скандал по поводу разрушения Семигорья, глубоко любимого на ее родине, что разработки были остановлены [22].

В 1869 г. усилиями старшего начальника над горнорабочими Эрнста Генриха фон Дехена был создан Союз по украшению Семигорья, которому в 1871 г. высочайшим кабинетским указом дали права юридического лица и право отчуждения из горнопромышленного использования в целях охраны природы. Устроенная государственная лотерея помогла собрать более 1 млн золотых марок. На эти деньги Союз по спасению Семигорья в 1899 г. в частном порядке приобрел земельные участки на горах Ольберг и Лорберг, а также лесные массивы по обе стороны Рёндорфской долины, в целом около 800 га [22, 29].

### Тойфельсмауэр в Гарце

Указывается несколько версий возникновения названия «Тойфельсмауэр» (в буквальном переводе – «стена дьявола») различной степени «народности», от легенд до сказок братьев Гримм, но, по сути, топоним – отголосок тех времен, когда на этих землях огнем и мечом вводилось христианство. Христианские миссионеры боролись с древними верованиями и культом деревьев. Они давали имена, связанные с ведьмами и чертями, культовым сооружениям, чтобы объявить их вне закона и тем самым отпугнуть от них староверов, вырубали и сжигали старые липы и дубы, под которыми проходили собрания [23, 24].

Останцы представляют собой кварцитовые песчаники (рис. 2). В ходе мощного вздымания Гарца в период с конца мелового по третичный период массив, образовавшийся из морских отложений, перевернувшись на север, поднялся вертикально. В Тойфельсмауэре, проходящем через южную часть общинных полей городов Веддерслебен и Варнштедт, выделяются Кёнигштайн, Миттельштайн и Папенштайн («Королевский камень», «Средний камень» и «Папский камень»), разделенные седловинами, в геологическом отношении – единое целое. Наивысшей точкой Тойфельсмауэра является Миттельштайн (185,2 м, т.е. более 50 м над долиной р. Бода, служащей южной границей нынешней охраняемой области) [30].

В настоящее время природный потенциал Тойфельсмауэра оценивается даже выше, чем в момент постановки его под охрану. С сегодняшней точки зрения это не просто уникальный в геологическом отношении памятник природы, а полиморфная мозаика биотопов, обусловленная

микrokлиматическими особенностями, и относящиеся к ней редкие виды флоры и фауны. На южной стороне у подножия уступа господствует микроклимат внутренних дюн. Скалы заселяются специфическими для сухих песчаных участков видами. На богатых питательными веществами навесных свежих лессовых почвах на северных склонах проявляется склонность к быстрому облесению пионерными древесными видами, такими как береза, полевой клен, лесной орех. На обрывистых склонах развились пустоши [31]. Рекреационное значение этого объекта приобрело особый вес после Второй мировой войны. В густо заселенных северных предгорьях Гарца, в первую очередь, в округах Кведлинбург и Тале, Тойфельсмауэр – общепризнанная цель посещения туристов и зона пригородного отдыха.



Рис. 2. Тойфельсмауэр [30, с. 5]

История интенсивного использования Тойфельсмауэра достаточно древняя (не считая заселения со времен палеолита). В средние века проходы в Тойфельсмауэре служили важными транспортными путями из Тале в Кведлинбург для торговцев и крестьян. Позднее стали вестись разработки камня. Первые документальные свидетельства (с середины XVII в.) об использовании каменоломен на общинных землях Веддерслебена разными предпринимателями и самой общиной – это церковные счета Веддерслебенской церкви, взимавшей «каменный налог». Сильное разрушение Папенштайна в его западной части говорит о долгом и обширном варварском использовании: в 1714 г. потребовался материал для сооружения новой церкви, в 1723 г. после большого пожара заново отстроили 38 жилых домов с конюшнями [30]. По иронии судьбы в ходе культурно-



исторического развития расположенных вблизи Тойфельсмауэра деревень происходило все большее разрушение этого памятника природы. С начала XIX в. вблизи останцов стали также добывать песок и глину в небольших карьерах, откуда жители близлежащих деревень брали материал для своих нужд. При этом, согласно летописи Веддерслебенской церкви, происходили несчастные случаи. С 1830-х гг. каменный материал стали использовать для прокладки дорог.

К охране Тойфельсмауэра местные власти подтолкнула реформа в землепользовании, та самая, результатами которой так возмущался основатель движения по охране природных и культурных ценностей страны Эрнст Рудорфф [32]. Целью ее, с одной стороны, было устранение чересполосицы, т.е. объединение сельскохозяйственных земель одного владельца, с другой – разделение совместно используемых территорий, так называемых общинных земель. После того как была проложена новая сеть дорог, а поля заново разделены, начался процесс официального удостоверения согласия землевладельцев с новым распределением земель и компенсации ущерба [3].

Согласно последним данным первое упоминание о постановке этого объекта под охрану относится еще к 1833 г.: в циркулярном предписании жителям Тале, Найнштедта, Веддерслебена и Варнштедта начальник кведлинбургского окружного управления Вейе запретил разработку камней на Тойфельсмауэре. За исполнением этого предписания должен был следить полевой сторож [33].

8 июля 1852 г. в кведлинбургском еженедельнике было опубликовано полицейское постановление: «До нашего сведения дошло, что со скал между Найнштедтом и Веддерслебеном, известных под названием Тойфельсмауэр, часто вытесывают или взрывными работами добывают камни, что, если так и будет продолжаться, приведет к обрушению и разрушению этой скалы. Так как тут имеет место быть разграбление находящегося в нашей местности примечательного объекта, и это угрожает жизни тех, кто работает вблизи скал, то на основе закона полицейского управления от 11.05.1850 г. взимается штраф от 2 до 3 талеров с тех, кто разрабатывает камень в 12 футах от упомянутой скалы» [30, с. 9]. В 1856 и 1860 гг. распоряжения об особых мерах охраны для участков Тойфельсмауэра подтвердили обер-президент округа Магдебург прусской провинции Саксония и земельный совет (ландрат) [3].

Параграф 20 закона о земельной реформе 1863 г. гарантировал сохранность Тойфельсмауэра с обоснованием того, что этот объект с его редкими формами, особенно Кёнигштайн и Миттельштайн, представляет общественный интерес и потому подлежит охране. Но камни для мостовых пользовались огромным спросом. Община в 1865 г. запретила изъятие оставшихся на полях отдельных камней, чтобы обеспечить собственные потребности, а в 1868 г. ходатайствовала о снятии

запрета в целях добычи камня [30]. Начальник районного управления фон Штилов отклонил просьбу: «Если бы в таком вопросе все решали бы только деньги, то, например, также каждая городская община имела бы право продавать или уничтожать старинные памятники архитектуры <...> ценность которых невозможно определить в денежном эквиваленте. Но государственные органы надзора этому препятствуют. Я в любом случае не могу позволить общине Веддерслебен такое варварство, как намеренное уничтожение Тойфельсмауэра ради создания мостовой» [3, с. 21]. В ответ на дальнейшие жалобы правительство назвало Тойфельсмауэр «предметом народных сказаний и одним из редчайших природных объектов, известной группой скал», чья охрана представляет общественный интерес, что согласовано с § 304 имперского уголовного закона [4, с. 10]. Просьбу общины отклонил и министр по формальным юридическим причинам на основе того, что договор о перераспределении земель может быть оспорен только всеми причастными лицами. Уведомление об отказе содержит также отсылки к фактическим причинам [30]. Тем самым были прекращены споры о добыче камня на Тойфельсмауэре и связанное с этим уничтожение уникальной скалы.

После того как в Пруссии в 1906 г. была создана Государственная комиссия по охране памятников природы под руководством Гюго Конвентца, скалы Тойфельсмауэр были признаны памятником природы, а непосредственно прилегающая к ним территория с 1860 г. считается так называемым резерватом. ООПТ Тойфельсмауэр в ее современных границах возникла только в 1935 г. Затем на эту территорию вплоть до объединения Германии оказывало сильное (и большей частью негативное) влияние развитие сельского хозяйства, так как часть охраняемых земель подверглась распашке, применению бицидов и т.п. С 2000 г. памятник природы находится в ведении федеральной земли Саксония-Ангальт [3].

### Люнебургская пустошь

В истории Люнебургская пустошь впервые упоминается в 1225 г. после возникновения герцогства Люнебургского [29]. Собственно охраняемая территория представляет собой участок холмистого западного края Люнебургской пустоши и цепь возвышенностей, расположенных в 40 км южнее Гамбурга, в том числе и самая высокая точка в западной части Северо-Германской низменности гора Вильдесер Берг с водоразделом крупнейших рек региона Эльбы, Везера, Аллера. Здесь имеются все характерные для Северо-Германской низменности ландшафты: луга, ручьи, болота и леса. Это древнее пространство расселения человека (первые поселения относятся к неолиту – около 3–4 тыс. лет до н.э.) и один из старейших культурных ландшафтов Германии.



Она представляет большой интерес с различных точек зрения. К ее образованию привела хозяйственная деятельность человека: в средневековье крестьяне вырубали первоначальные леса и освоили возникшие на этом месте открытые земли. Они занимались пчеловодством и выпасом овец. В результате сформировались почвы, крайне бедные питательными веществами, и специфический ландшафт. С началом индустриализации в начале XIX в. эти земли используются все меньше. С течением времени обогащение почвы гумусом привело к тому, что типичные для пустоши виды растений вытесняются новыми видами [34].

В 1909 г. в издательство «Kosmos» к Вальтеру Келлеру, надворному советнику в Штутгарте, независимо друг от друга обратились доктор Курт Флорике и молодой доктор из Вены Рихард Зейферт с предложением создать в Германии, «как и во всех культурных странах», природоохранные парки [29]. Идея, опубликованная в журнале, нашла широкий отклик в больших кругах и привела к основанию Союза природоохранных парков в 1909 г. Союз громко объявляет о своей приверженности концепции национальных парков США. Поставлены следующие задачи: охранять естественные и особенно живописные ландшафты с их естественными растительными и животными сообществами от рокового влияния прогрессирующей цивилизации; с одной стороны, разъяснением угрожающих последствий для народа и биологии, с другой – созданием и управлением большими резерватами, служащими образцом. Основной целью стало создание трех природоохранных парков: на равнине, в средне- и высокогорье, т.е. во всех характерных для Германии ландшафтах [35, 36].

В то же время пастор Вильгельм Боден из Эгерсдорфа энергично взялся за идею сохранения Люнебургской пустоши. Поначалу ему самому удалось найти несколько спонсоров для покупки участка, которым угрожала застройка, а потом подключился Союз природоохранных парков [29]. На это местные жители сначала отреагировали негативно, но уже в 1911 г. Гамбург предоставил ежегодную дотацию в 10 тыс. марок на подобные мероприятия. Вильгельм II, немецкий кайзер и король Пруссии, поддержал создание парка в пустоши и позволил провести государственную лотерею для Союза природоохранных парков, которая прошла с большим успехом и принесла организации 1,4 млн марок. На эти деньги Союз приобрел большой участок пустоши и тем самым обеспечил охрану центральной зоне природоохранный парка [37].

Дополнение от 8 июля 1920 г. к Прусскому полевому и лесному закону 1880 г. обязало полицейские управления применять специальные инструкции для охраны животных, растений и ООПТ (§34, позднее §30). Полицейским указом министерства от 29 декабря 1921 г. Люнебургская пустошь и указом от 7 июня 1922 г. Семигорье

признаны охраняемыми территориями. Тем самым Пруссия поставила под охрану два обширных, широко известных своеобразных ландшафта. Это подтвердила ст. 150 ч. 1 конституции Веймарской республики от 11 августа 1919 г., по которой памятники природы и ландшафт подлежат охране и заботе государства. Имперский закон об охране природы 1935 г. утвердил обе ООПТ. Эти территории, лежащие в поле воздействия урбанизации и индустриализации, сохранились до сегодняшнего дня, но это, скорее, заслуга частных организаций. Положительно сказался тот факт, что покупка этих участков началась в то время, когда земля еще не была объектом спекуляций. Люнебургской пустоши выдан первый европейский диплом как немецкому ландшафту европейского значения. Считается, что при создании этого природного парка зародилась программа природных парков ФРГ, ставшая, в свою очередь, предшественницей Европейской комиссии по охране природы и природным ресурсам при Европейском совете. Таким образом, Люнебургская пустошь, более 50 кв. км площади которой принадлежит Союзу природоохранных парков, и Семигорье, где действовал Союз по спасению Семигорья, являются единственными из крупных ООПТ, большая часть которых принадлежит общественным организациям [29].

#### Заключение

На территории современной Германии уже в середине XIX в. были сделаны успешные попытки создания «резерватов культурного ландшафта», где особенно красивые участки природы с ценными историческими объектами сохранялись от дальнейшей хозяйственной деятельности человека и служили для воспитания народного духа. Во-первых, это соответствовало идеалам культурно-исторического течения романтизма, расцвет которого пришелся на первую половину XIX в. Во-вторых, это способствовало сплочению германской нации в ходе формирования единого немецкоговорящего государства. Тем самым, определились важнейшие этапы создания ООПТ: инициатива признания объекта охраняемой территорией, изъятие его из хозяйственной деятельности и гарантия по сохранению. В случае Бамбергской рощи и урочища Тойфельсмауэр инициатива по созданию ООПТ принадлежала государству, в случае горы Драхенфельс инициатива была общественной. Начало сохранения Люнебургской пустоши было положено частным лицом, а потом присоединилась общественная организация. Было выявлено два пути вывода охраняемых объектов из хозяйственного пользования: изъятие государством, т.е. экспроприация (Бамбергская роща, Тойфельсмауэр) и скупка земель (Люнебургская пустошь), а также их комбинация (Семигорье). В рассмотренных случаях инициатива была поддержана правительством, участки были признаны государственной собственностью и до настоящего



времени находятся под охраной государства. Таким образом, идея охраны природы в Германии стала реальностью еще до создания теоретических основ природоохранного движения.

Гюго Конвентц, став в 1906 г. руководителем Прусской государственной комиссии по охране памятников природы, направил ее работу на «охрану небольших по площади ООПТ, рассеянных по территории страны, ибо <...> нетронутые участки ландшафта, растения и животные, не испытывавшие на себе влияния человеческой деятельности, и у нас, и в других государствах едва ли сохранились» [12, с. 6]. Для большинства же общественных организаций образцом природоохранной деятельности были национальные парки США. При этом мало кто обращает внимание на тот факт, что на практике первые крупные по площади ООПТ в Германии были созданы до того, как стали всемирно известны Йеллоустонский и Йосемитский национальные парки, и в некотором роде предвосхитили их.

### Библиографический список

1. *Wegener U.* Naturschutz in der Kulturlandschaft. Schutz und Pflege von Lebensräumen. Jena; Stuttgart; Lübeck; Ulm: Gustav Fischer Verlag, 1998. 456 S.
2. Zeittafel zur Geschichte des Naturschutzes in Deutschland // *Natur und Landschaft*. 1990. Heft 3. S. 113–114.
3. *George K.* Streitigkeiten über Teufelsmauer und ihre Umgebung // 150 Jahre Schutz der Teufelsmauer. Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt / Red. K. George, H.-J. Lerche u. a. Halle: Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, 2002. S. 20–31.
4. *Hilbig W., Wegener U., Behrens H.* Die Entwicklung des Naturschutzes und des Naturschutzbeauftragtenwesens auf dem Territorium des Landes Sachsen-Anhalt von den Anfängen bis zur Gegenwart // *Lexikon der Naturschutzbeauftragten*. B. 2. Sachsen-Anhalt / Bearb. von H. Behrens. Friedland: Steffen Verlag, 2006. S. 1–120.
5. *Ant H.* Daten zur Geschichte des Naturschutzes // *Naturschutz, Erholung, Landentwicklung*. Jahrbuch für Naturschutz und Landschaftspflege. Verhandlungen Deutscher Beauftragter für Naturschutz und Landschaftspflege. B. 21 / Hrsg. von Dr. W. Erz. Bonn – Bad Godesberg: Arbeitsgemeinschaft Deutscher Beauftragter für Naturschutz und Landschaftspflege e.V., 1972. S. 124–135.
6. *Zielonkowski W.* Geschichte des Naturschutzes // *Ringvorlesung Naturschutz*. Laufener Seminarbeiträge. 1989. № 2. S. 5–12.
7. *Moewes F.* Zur Geschichte der Naturdenkmalpflege // *Wege zum Naturschutz* / Hrsg. von W. Schoenichen. Breslau: Ferdinand Hirt Verlag, 1926. S. 28–71.
8. Naturpark Kellerwald-Edersee. Entwicklungsplanung. B. I. Bestandanalyse. Bearb. Büro Sollmann. O.O. Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz, 2003. 127 S.
9. *Friede A., Hoffmann A., Paleit J., Panek N.* Forschung in Buchenwald-Nationalparken. Sigmasoziologisch-strukturanalytische Ansätze mit Fokus auf den Nationalpark Kellerwald-Edersee // *Natur und Landschaft*. 2005. Heft 12. S. 514–518.
10. *Rost B.* Beispiellandschaft Rügen // *Schriftenreihe des Deutschen Rates für Landespflege*. 1997. Heft 67. S. 41–47.
11. *Höppner K.* 100 Jahre Naturschutzgebiet Plagefenn – ein Beispiel für erfolgreiches Zusammenwirken von Forstwirtschaft und Naturschutz // 100 Jahre Naturschutzgebiet Plagefenn. Ein Beispiel für erfolgreiches Zusammenwirken von Forstwirtschaft und Naturschutz / Red. J. Engel. Eberswalde: Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg, 2007. S. 11–21.
12. *Conwentz H.* Die Gefährdung der Naturdenkmäler und Vorschläge zu ihrer Erhaltung. Denkschrift dem Herrn Minister der geistlichen, Unterrichts- und Medizinal- Angelegenheiten überreicht von H. Conwentz. Berlin: Gebrüder Borntraeger Verlag, 1904. 207 S.
13. *Klessmann E.* Die deutsche Romantik. Köln: Dumont, 1979. 229 S.
14. *Berlin I.* Die Wurzeln der Romantik. Berlin: Berlin Verlag, 2004. 272 S.
15. *Ott K., Potthast T., Gorke M., Nevers P.* Über die Anfänge des Naturschutzgedankens in Deutschland und den USA im 19. Jahrhundert // *Jahrbuch für Europäische Verwaltungsgeschichte*. B. 11: Naturnutzung und Naturschutz in der europäischen Rechts- und Verwaltungsgeschichte / Hrsg. von E.V. Heyen. Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft, 1999. S. 1–55.
16. *Hölzl R.* Naturschutz in Bayern von 1905–1945: der Landesausschuß für Naturpflege und der Bund Naturschutz zwischen privater und staatlicher Initiative. Regensburger Digitale Texte zur Geschichte von Kultur und Umwelt. 2005. № 1. 153 S.
17. *Wettengel M.* Staat und Naturschutz 1906–1945: Zur Geschichte der Staatlichen Stelle für Naturdenkmalpflege in Preußen und der Reichsstelle für Naturschutz // *Historische Zeitschrift*. 1993. B. 257. S. 356–399.
18. *Klein F.* Hermann Löns als Wegbereiter des Naturschutzes // *Wie kann man den Himmel kaufen*. Naturschutz in Niedersachsen. Hannover: Hejo-Verlag, 1983. S. 11–14.
19. *Frohn H.-W.* Naturschutz und Staat 1880–1976. Von naturalen Memorialinseln zur Landschaftsökologie // *Jetzt ist die Landschaft*. Ein Katalog voller Wörter. Beiträge zur Sprache der Ökologie / Red. B. Busch, A. Göbel-Lunemann. Göttingen: Wallstein Verlag, 2007. S. 34–41.
20. *Eidloth V.* Das Bamberger Hainviertel. Ehemaliges Zentrum des jüdischen Hopfenhandels // *Bamberger Geographische Schriften*. 1988. Sonderfolge 3. S. 19–152.
21. *Sperber G.* Bamberger Hain, Deutschlands älteste Waldschutzgebiet – ein Naturerbe von europäischen Bedeutung // *Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt*. 2005. № 70. S. 177–188.
22. *Roth H.J.* Der Drachenfels – von der Polizeiverordnung 1836 bis zum Nationalpark Siebengebirge // *Natur im Sinn*. Zeitzeugen im Naturschutz. – Beiträge zur Geschichte des Naturschutzes. B. 2 / Hrsg. von Stiftung Naturschutzgeschichte. Essen: Klartext Verlag, 2001. S. 131–142.
23. *Sieferle R.P.* Fortschrittsfeinde? Opposition gegen Technik und Industrie von der Romantik bis zur Gegenwart. München: C.H. Beck Verlag, 1984. 301 S.
24. *Piechocki R.* Zum Wandel des Naturschutzverständnisses im Verlauf der letzten einhundert Jahre // *Von den Naturdenkmalpflege zum Prozessschutz in den Nationalparken*. Wege zu



einer ganzheitlichen Naturschutzstrategie / Bearb. von Behrens H., Sacher P., Wegener U. Berlin: Verlag für Wissenschaft und Forschung, 2002. S. 5–47.

25. Knaut A. Zurück zur Natur! Die Wurzeln der Ökobewegung, Suppl. 1 zum Jahrbuch für Naturschutz und Landschaftspflege. Greven: Kilga-Verlag, 1993. 480 S.

26. Schoenichen W. Naturschutz – Heimatschutz. Große Naturforscher. B. 16. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft M.B.H., 1954. 311 S.

27. Blab J. Schutzgebiete in Deutschland – Entwicklung mit historischer Perspektive // Natur und Landschaft. 2006. Heft 1. S. 8–11.

28. Barthelmeß A. Landschaft. Lebensraum des Menschen. Probleme von Landschaftsschutz und Landschaftspflege geschichtlich dargestellt und dokumentiert. Freiburg; München: Verlag Karl Alber, 1988. 384 S.

29. Offner H. Die Lüneburger Heide // Jahrbuch Preussischer Kulturbesitz. 1971. Sonderdruck. № IX. S. 3–20.

30. Lerche H.-J. Die Teufelsmauer bei Weddersleben und Warnstedt // 150 Jahre Schutz der Teufelsmauer. Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt / Red. K. George, H.-J. Lerche u. a. Halle: Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, 2002. S. 6–11.

31. Stempel A., Ohlendorf B. Zur Bedeutung, Pflege und Entwicklung des NSG «Teufelsmauer» // Ibid. S. 16–19.

32. Rudorff E. Über das Verhältnis des modernen Lebens zur Natur // Natur und Landschaft. 1990. Heft 3. S. 119–125.

33. Funkel C., George K. Die «Teufelsmauer» – eines der frühesten Schutzobjekte in Deutschland – älter als gedacht // Naturschutz im Land Sachsen-Anhalt. 2002. Heft 2. S. 50–52.

34. Kaiser T., Lütkepohl M., Prüter J. Das Naturschutzgebiet Lüneburger Heide als Beispielgebiet des Werkstattgesprächs «Naturschutzleitbilder» // Schriftenreihe des Deutschen Rates für Landespflege. 1997. Heft 67. S. 71–73.

35. Floericke K. Entwicklung, Stand und Aussichten der Naturschutzparkbewegung // Naturschutzparke in Deutschland und Österreich. Ein Mahnwort an das deutsche und österreichische Volk. Hrsg. vom Verein Naturschutzpark e. V. Sitz Stuttgart. Stuttgart: Frank'sche Verlagshandlung, o. J. S. 7–18.

36. Guenther K. Der Naturschutz. Freiburg i. B.: Verlag Friedrich Ernst Fehlenfeld, 1910. 278 S.

37. Der Verein Naturschutzpark e.V. besteht 80 Jahre. Die Geschichte des Vereins in Stichworten von 1909 bis 1988 // Naturschutz- und Naturparke. Mitteilungen des Vereins Naturschutzpark e.V. und des Verbandes Deutscher Naturparke e.V. 3. Vierteljahr 1989. Heft 134. S. 41–47.

УДК [911.52:528.94] (470.44)

## КРУПНОМАСШТАБНОЕ ЛАНДШАФТНОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ (на примере полупустынного Саратовского Приузенья)

Н.В. Пичугина, А.В. Фёдоров<sup>1</sup>

Саратовский государственный университет,  
кафедра физической географии и ландшафтной экологии,

<sup>1</sup> кафедра геоморфологии и геоэкологии,

E-mail: geogr@sgu.ru

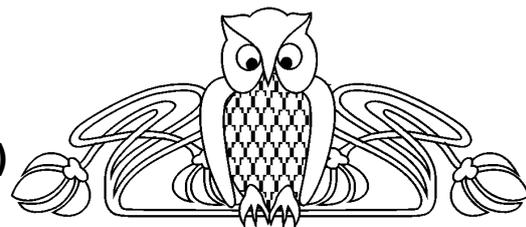
Статья посвящена вопросам картографирования локальных геосистем полупустынного Саратовского Приузенья, а также возможностям использования картографических произведений для определения ландшафтной структуры и ее изменений вследствие антропогенной нагрузки на территорию. В работе использованы материалы полевых исследований разных лет, топографические и тематические карты, космические снимки, элементы геоинформационных технологий.

**Ключевые слова:** картографирование, ландшафты, полупустыня, Саратовская область, Заволжье.

### Large-Scale Landscape Mapping (Semi-Desert Saratov Priuzenye as an Example)

N.V. Pichugina, A.V. Fedorov

The article is devoted to mapping questions of local semi-desert Saratov Priuzenye geosystems and facilities of cartographical works using for landscape structure identification and its variation as a result of anthropogenic load on the territory. Different ages field research, topographical and thematic maps, space images, geoinformation technology' elements are used in the work.



**Key words:** mapping, landscapes, semi-desert, Saratov Region, Zavolzhye.

Основным назначением ландшафтного картографирования выступает разработка методики составления, оформления и анализа картографических произведений, отображающих природные и природно-антропогенные геосистемы локальной, региональной и планетарной размерностей.

**Целью данной статьи** является рассмотрение возможностей использования крупномасштабного картографирования геосистем локального уровня для изучения ландшафтной структуры, а также ее трансформации в процессе сельскохозяйственного использования территории.

В качестве объекта исследования была выбрана Приузенская равнина с трехчленными пустынно-степными комплексами (ПСК). Административно она охватывает юго-западную часть Новоузенского района (к югу от широты г. Новоузенска) и Александрово-Гайский район Саратовской области.

**Актуальность выбранной темы** определяется необходимостью оптимизации структуры землепользования территории.

**Исходные материалы и источники.** При написании статьи были использованы материа-



лы полевых исследований 1997, 1998 и 2010 гг., топографические и тематические (почвенные, ландшафтные и др.) карты, космические снимки, научные публикации (монографии, статьи).

**Методы исследования:** описательный, сравнительный, картографический с использованием геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования Земли. Для определения пространственных характеристик изучаемых объектов (местоположение, абсолютная высота) применялось оборудование системы глобального позиционирования GPS.

**История вопроса.** Крупномасштабное картографирование пробных участков (10x10, 50x50 и 100x100 м) для исследования ландшафтной структуры территории Нижнего Заволжья было использовано участниками Нижневолжской экспедиции АН СССР под руководством Б.А. Келлера в 1932 г., а также при полустационарных исследованиях в 1933 г. [1]. На этих картах отображены основные звенья двучленных и трехчленных комплексов. Саратовское Приузенье подобными картографическими работами во время этой экспедиции не было затронуто.

В 1991 г. картографирование фациальной структуры и нивелирная съемка рельефа были выполнены под руководством В.А. Николаева для ключевого участка (30x48 м) на территории Джа-

ныбекского стационара (Казахстан) [2]. В 1998 г. аналогичная работа была проведена Н.В. Пичугиной на ключевом участке (30x50 м) Узенско-Большелиманского ландшафта (Александрово-Гайский административный район).

**Исследуемая территория** согласно ландшафтному районированию Саратовского Заволжья [3] входит в состав Приузенского ландшафтного района северной полупустыни Прикаспийской низменности. Здесь представлено четыре зональных ландшафта и два интразональных долинных ландшафта [3, 4]. Между рр. Большой Узень и Малый Узень находятся Межузенские северный и южный ландшафты, а в левобережной части Большого Узеня – Узенско-Дюринский и Узенско-Большелиманский ландшафты. Абсолютные высоты на междуречных пространствах меняются от 38–40 м на севере до 18–20 м на юге.

Основными элементами ландшафтной структуры исследуемой территории являются: аккумулятивные плоские и слабонаклонные равнины с двучленными и трехчленными пустынно-степными комплексами (ПСК); урочища падин и лиманов, а также долинные геосистемы. Равнины с трехчленными пустынно-степными комплексами (рис. 1) в структуре зональных ландшафтов занимают 68–83% от их площади.



Рис. 1. Трехчленный пустынно-степной комплекс (ПСК) Узенско-Большелиманского ландшафта (фотография Н.В. Пичугиной, 2010 г.)



### Локальный уровень ландшафтных исследований.

На ландшафтных картах 1 : 50 000 и 1 : 100 000 масштаба, как правило, отображены такие единицы, как ландшафтный район, ландшафт, местности, а также наиболее крупные урочища. Для более детального выявления ландшафтной структуры может быть использовано крупномасштабное картографирование ключевых участков. Оно раскрывает фациальную дифференциацию территории.

#### *Методика работы на ключевом участке.*

1. Выбор площадки размером 20x40, 30–50 м и т.п. В ее пределах должно оказаться максимальное число элементов исследуемой территории или тех из них, которые представляют наибольший интерес.

2. Участок съемки разбивается на квадраты-полигоны со стороной 1, 2 м или более. Угол каждого полигона фиксируется колышком, который затем используется в качестве постоянного пикета.

3. На миллиметровой бумаге в масштабе 1 : 100 наносятся границы участка и полигонов, а также проводится сплошная нумерация основных (постоянных) пикетов. Затем последовательно по полигонам осуществляется нанесение границ локальных геосистем с использованием растительных ассоциаций в качестве индикатора.

4. Параллельно ведется полевой журнал ландшафтной съемки, в котором отражается подробная характеристика выделенных фаций с описанием элемента рельефа и растительного покрова. Каждой из выделенных фаций присваивается свой индивидуальный номер или проводится предварительная группировка, когда однотипные фации обозначают одинаковым порядковым номером.

5. В том случае, если планируется проведение многолетних наблюдений на данном участке, для описания почв закладываются шурфы рядом с исследуемой площадкой под такими же растительными сообществами, что и на ключе. На ключевом участке может быть использован почвенный бур, а также приборы, позволяющие определить pH и влажность почвы.

6. В том случае, когда требуется проведение более детального анализа приуроченности фаций к определенным местоположениям, используется инструментальная съемка рельефа исследуемого ключевого участка. На миллиметровой бумаге создается второй экземпляр плана участка с разбивкой его на полигоны и указанием пикетов. Затем выбирается место для «станции» (т.е. для установки нивелира) и последовательно по основным пикетам проводится геометрическое нивелирование поверхности ключевого участка. Если внутри полигонов или вдоль их сторон между основными пикетами наблюдается изменение высоты, то в этих точках устанавливаются дополнительные пикеты.

7. В «камеральный» этап ландшафтной съемки входит оформление ландшафтной карты. Для этого целесообразно воспользоваться возможностями геоинформационных технологий. С помощью сканера осуществляется перевод в электронный вид топографической и тематической информации с бумажных основ. После привязки раstra в программе Mapinfo осуществляется векторизация (цифрование), т.е. перевод информации из растровой формы в векторный вид, а также ввод атрибутивных данных по каждому из объектов.

8. Завершающим этапом являются обработка и анализ полученных баз данных с использованием инструментов геоинформационного моделирования, например построения цифровой модели местности, оверлейных операций и т.п.

#### *Исследование Узенско-Большелиманского ландшафта.*

Крупномасштабное картографирование (1 : 100) было проведено на ключевом участке (30x50 м) с трехчленным пустынно-степным комплексом в пределах Узенско-Большелиманского ландшафта (рис. 2). Эта территория в настоящее время является частью памятника природы регионального значения «Ляляевская комплексная полупустыня» [5]. Участок используется под выпас и прогон скота.

Для выявления фациальной приуроченности к высотным уровням было проведено геометрическое нивелирование поверхности ключевого участка (рис. 3). В связи с незначительной площадью исследуемого участка и малой разницей высот за относительный ноль была принята самая низкая точка на участке, которая находится в микрозападине с зарослями спиреи. Максимальная высота находится на сусликовине и составляет 52,4 см. После обработки полученного материала были построены карты рельефа с сечением в 1 см, а также гипсометрических уровней с шагом в 5 см (см. рис. 3).

Для наглядности была построена трехмерная цифровая модель рельефа с оверлеем фациальной дифференциации (рис. 4).

#### *Исследование Межузенского южного ландшафта.*

Межузенский южный ландшафт находится на юге Александрово-Гайского района в пределах междуречья Большого и Малого Узеней. Для картографирования было выбрано три ключевых площадки (500x500 м) с трехчленным пустынно-степным комплексом между хуторами Байгуза, Вишневка и Тюленев. Абсолютные высоты здесь составляют 23–25 м н.у.м. Одна из площадок представлена в статье (рис. 5). Картографирование проводилось по космическим снимкам высокого разрешения, при дешифрировании которых использовались материалы полевых исследований (2010 г.).

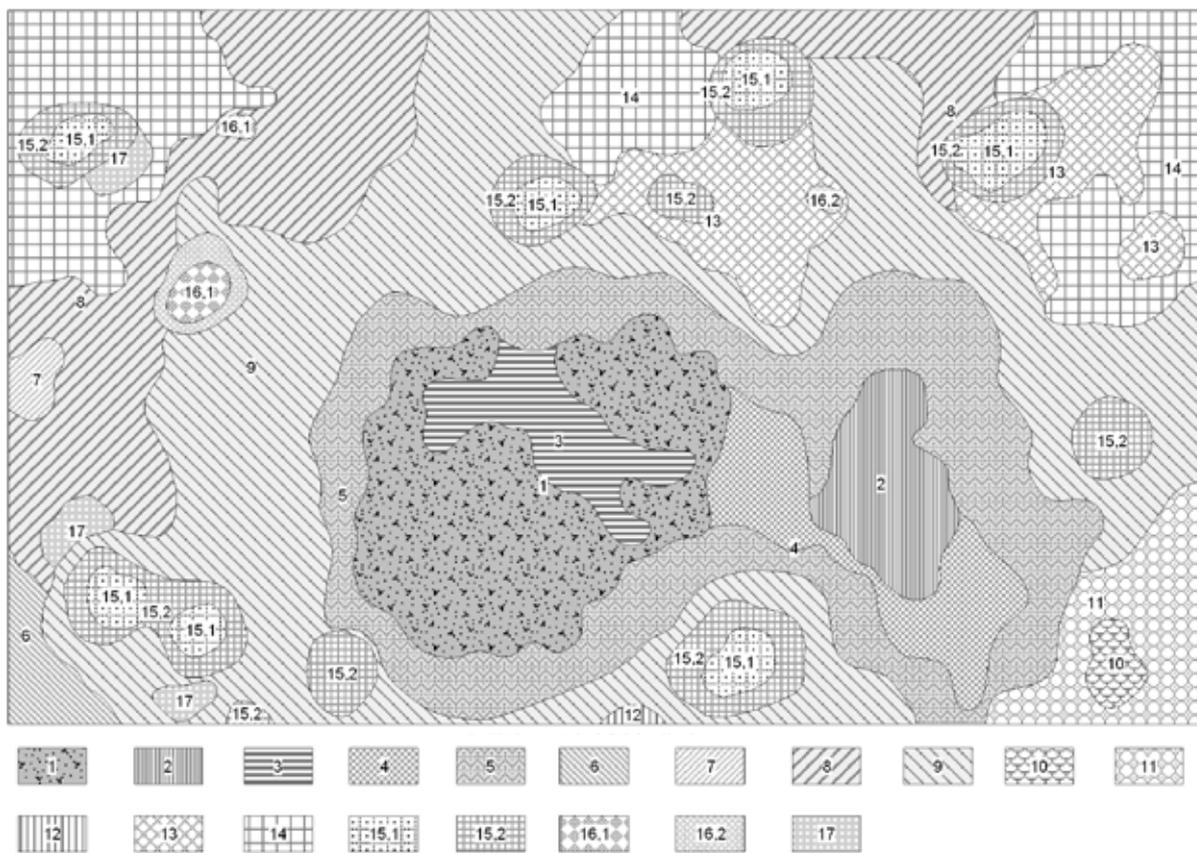


Рис. 2. Узенско-Большелиманский ландшафт: фациальная структура ключевого участка (30x50 м) с трехчленным пустынно-степным комплексом:

*степные и лугово-степные фации микрозападин:*

- 1 – ковыльно-богаторазнотравно-кострово-узколистно-мятликовая ассоциация (восьмилепестник, вейник, ковыль Залесского, со спиреей (высота 1–1,7 м), п/п 100%, на лугово-каштановых тяжелосуглинистых почвах;
- 2 – осоково-богаторазнотравно-грудницево-ковыльная с участием тонконога, тысячелистника, кермека, гвоздики и с куртинами спиреи (высота 0,2–0,5 м), п/п 95%, на лугово-каштановых тяжелосуглинистых почвах;
- 3 – богаторазнотравно-ковыльная ассоциация (ковыль Залесского, вейник, гвоздика, восьмилепестник, коровяк, спаржа, пырей, тырса) с п/п 95% на луговато-каштановых тяжелосуглинистых почвах;
- 4 – богаторазнотравно-тонконогово-пырейно-грудницево-ковыльная ассоциация с п/п 90–95% на луговато-каштановых тяжелосуглинистых почвах;
- 5 – типчаково-разнотравно-тонконогово-ковыльковая ассоциация (грудница, гвоздика, дымнянка, коровяк, кермек, василек, тырса, подмаренник, тысячелистник, полынь) с п/п 80–85% на луговато-каштановых тяжелосуглинистых почвах;
- пустынно-степные фации микросклонов к западинам:*
- 6 – ксерофитно-разнотравно-тонконогово-ромашниково-типчаково-ковыльковая ассоциация с участием осочки, мятлика, полынка, п/п 80%, на светло-каштановых тяжелосуглинистых почвах;
- 7 – ксерофитно-разнотравно-острецово-типчаково-пустынно-житняково-ромашниковая ассоциация с п/п 70% на светло-каштановых тяжелосуглинистых солонцеватых почвах;
- 8 – прутняково-камфоросмово-ромашниково-мятликово-острецовая ассоциация с участием накипных лишайников и житняка пустынного, п/п 70%, на светло-каштановых тяжелосуглинистых солонцеватых почвах;

- 9 – типчаково-прудняково-чернопынная ассоциация с участием мятлика, острца, п/п 60%, на светло-каштановых тяжелосуглинистых солонцеватых почвах;
- солонцово-пустынно-степные и солонцово-пустынные фации микроповышений:*
- 10 – тонконогово-пустынножитняково-острецово-мятликово-типчаково-полынно-ромашниковая ассоциация с п/п 75% на солонцах средних и мелких солончаковых и солончачоватых;
- 11 – острецово-прудняково-мятликово-полынная ассоциация с п/п 60% на солонцах мелких и средних солончаковых;
- 12 – ромашниково-полынно-типчаково-мятликовая ассоциация с п/п 50% на солонцах мелких и средних солончаковых;
- 13 – мятликово-чернопынно-камфоросмово-прудняковая ассоциация с п/п 50% на солонцах средних и мелких солончаковых;
- 14 – прутняково-чернопынная, мятликово-прудняково-чернопынная, мятликово-чернопынная ассоциации с п/п 45–55% на солонцах мелких и корковых солончаковых;
- фации сусликовин:*
- 15.1 – прутняково-камфоросмово-солянкавая ассоциация с п/п 5–10% на свежих карбонатно-соленосных выбросах сусликовин;
- 15.2 – мятликово-чернопынно-прудняковая ассоциация с п/п 20–45% на шлейфах сусликовин;
- 16.1 – острецово-прудняково-ромашниково-чернопынная ассоциация с п/п 45–55% на зарастающих сусликовинах;
- 16.2 – острецово-мятликово-полынная ассоциация с п/п 45–55% на зарастающих сусликовинах;
- 17 – ковыльково-мятликово-полынно-острецово-тонконогово-ромашниковая ассоциация с п/п 55–70% на старых просевших заросших сусликовинах

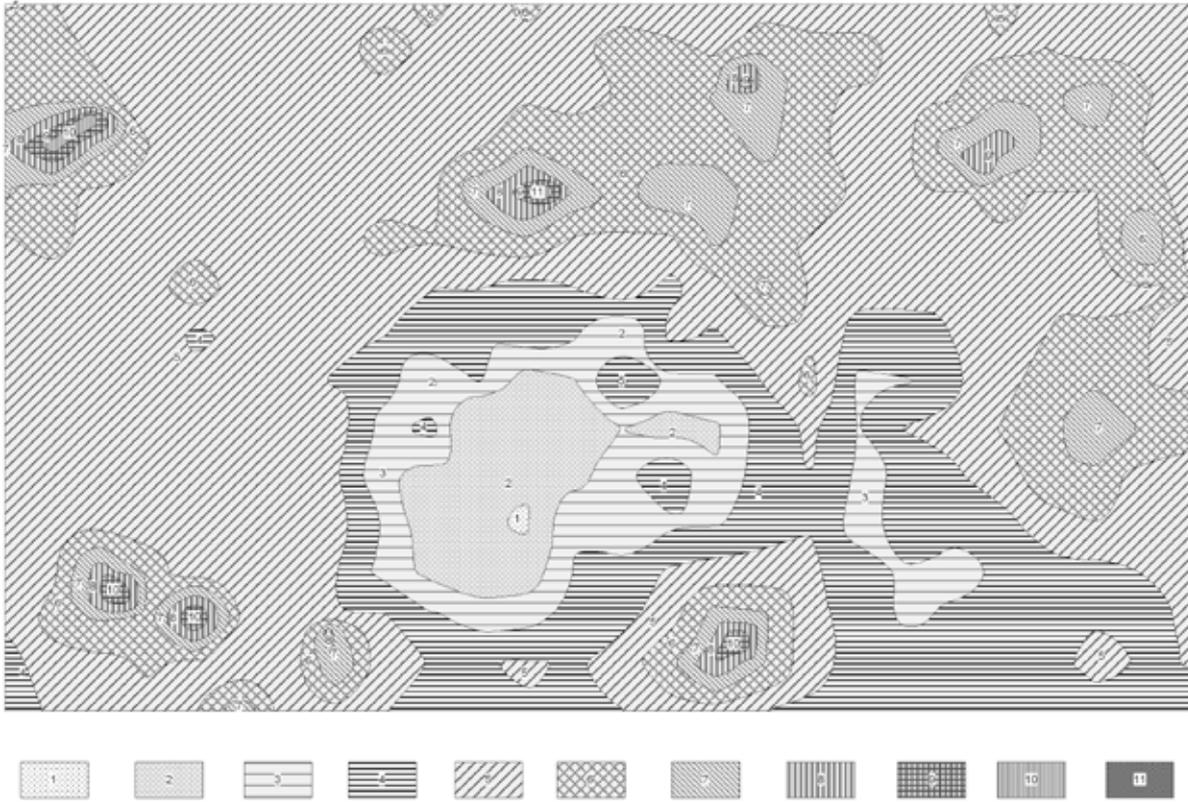


Рис. 3. Узенско-Большелиманский полупустынный ландшафт: гипсометрические уровни (см.) ключевого участка (30x50 м) с трехчленным комплексом: 1 – 0–5; 2 – 5–10; 3 – 10–15; 4 – 15–20; 5 – 20–25; 6 – 25–30; 7 – 30–35; 8 – 35–40; 9 – 40–45; 10 – 45–50; 11 – 50–55

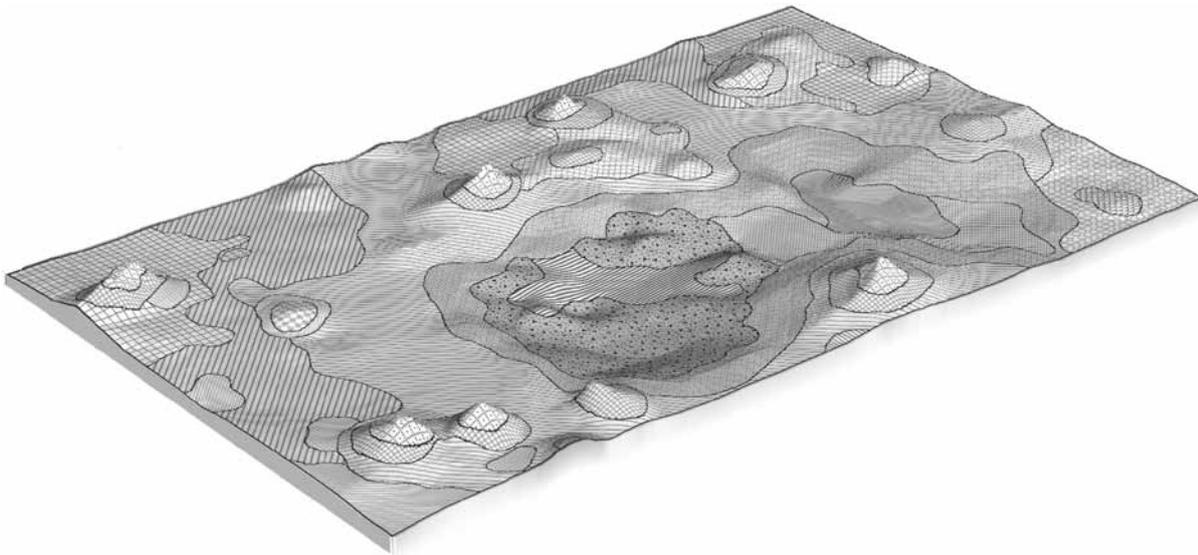


Рис. 4. Узенско-Большелиманский ландшафт: трехмерная модель рельефа с оверлеем фациальной структуры ключевого участка (30x50 м) с трехчленным пустынно-степным комплексом

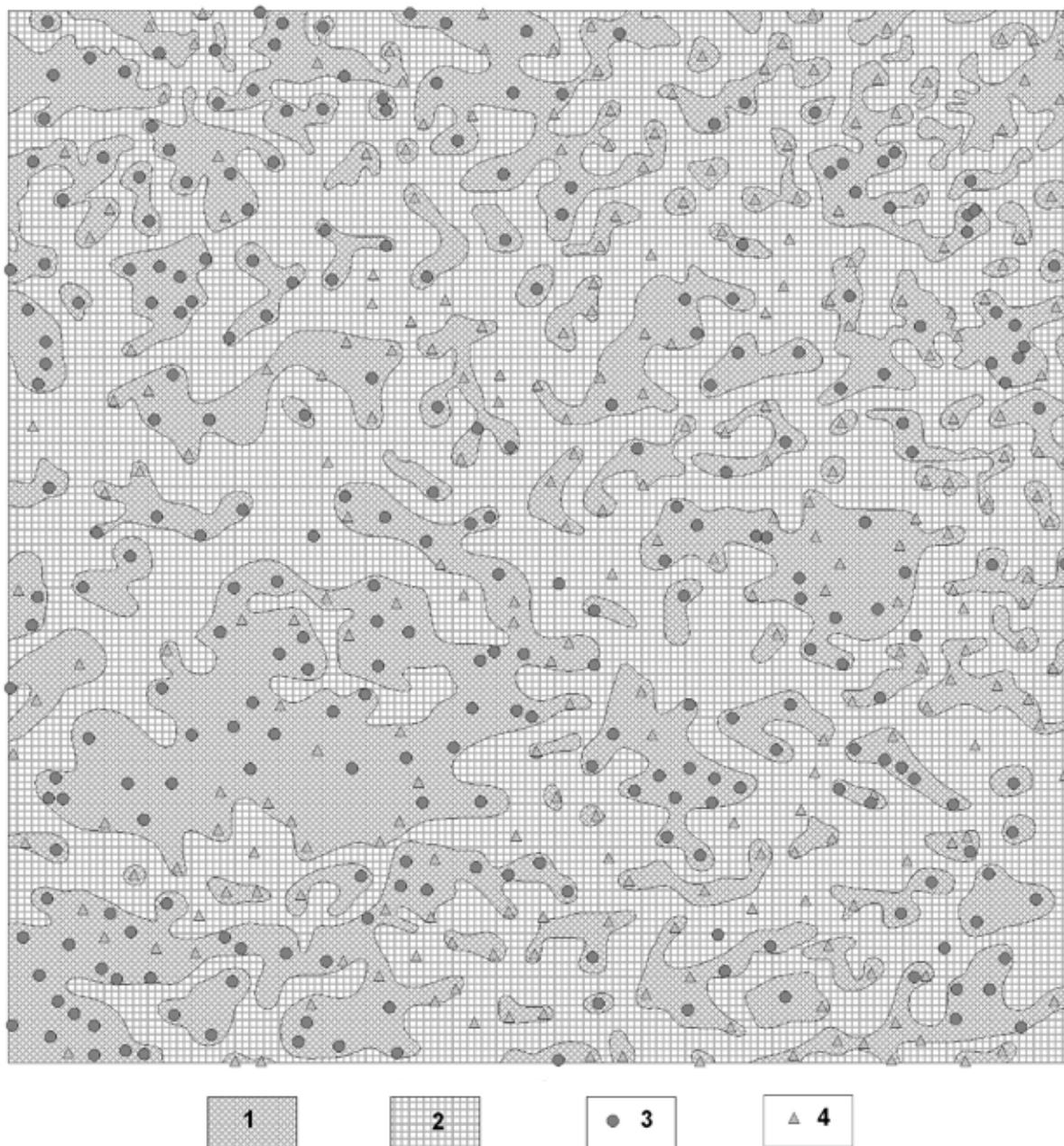


Рис. 5. Пространственная дифференциация основных элементов ключевой площадки (500x500 м) с трехчленным пустынно-степным комплексом на Межузенском южном ландшафте: группы фаций: 1 – пустынно-степные фации микросклонов к западинам; 2 – солонцово-пустынно-степные фации микровышений с сусликовинами; 3 – лугово-степные фации микрозападин с злаково-разнотравной растительностью и зарослями спиреи; 4 – лугово-степные и степные фации микрозападин с тонконогово-житняково-пырейными сообществами

Для рассматриваемого участка, согласно проведенным расчетам, характерно следующее долевое участие основных элементов трехчленного комплекса. Пустынно-степные фации микросклонов на светло-каштановых почвах занимают около 43%, солонцово-пустынно-степные фации микровышений на солонцах – 41%, по 8,5% приходится на микрозападины с зарослями спиреи на лугово-

каштановых почвах, а также на микропонижения с тонконогово-житняково-пырейными сообществами на луговато-каштановых почвах. Диаметр западин варьирует от 3–5 до 17–20 м. Солонцово-пустынно-степные фации осложняют сусликовины, наиболее значительные из которых занимают чуть более 1% (333 шт.) от площади участка. Исследуемый участок используется под прогон скота.



## Выводы

1. Ландшафтное картографирование ключевых участков размером 30x50, 10x10 м и т.п. позволяет выявлять фациальную дифференциацию территории, а при многолетних наблюдениях дает возможность определять основные направления изменения ландшафтной структуры. В пределах Узенско-Большелиманского ландшафта антропогенная трансформация связана преимущественно с выпасом скота. Пастбищная нагрузка ведет к ухудшению состояния кустарникового элемента в трехчленном комплексе. Высота спиреи составляет 0,5–0,7 м, а до интенсивного выпаса достигала 1,7 м. В угнетенном состоянии находятся представители разнотравья. В растительном покрове начинают преобладать сообщества с доминированием полыни, прежде всего черной. Разрыхление верхнего почвенного горизонта неизбежно создает благоприятные условия для развития ветровой эрозии.

2. Ландшафтное картографирование ключевых площадок размером 500x500 м дает возможность определения основных элементов и их долевого участия в структуре отдельных местностей. Закладка площадок, характеризующихся разным хозяйственным использованием, позволяет прогнозировать возможные пути развития при снижении или увеличении нагрузки.

Исследования, проведенные на ключевых площадках в окрестностях хут. Байгужа, позволили выявить некоторые особенности развития территории. Участок, который до середины 90-х гг. XX в. использовался в качестве пашни, в настоящее время представлен залежью. В результате механической обработки земли из структуры трехчленного комплекса выпали такие элементы, как сусликовины, западины с зарослями спиреи. Вместе с тем дешифрирование космических снимков показало, что западины хорошо читаемы. Полевые работы подтвердили, что западины, несмотря на период земледельческого использования, сохранили свою индивидуальность. В настоящее время в них преобладают тонконогово-житняково-пырейные сообщества с очень небольшим участием разнотравья. В отдельных западинах, расположенных ближе к целинным

участкам, появляются одиночные кусты спиреи. Если распашка затрагивала лиманные понижения, то в них пырейные сообщества нередко начинали сочетаться с рассеянным или куртинным восстановлением солодки.

Протяженность скотобойных троп на ключевой площадке, представленной в статье (см. рис. 5), составила 13,2 км. Ширина скотобойной тропы достигает 23–25 см, глубина – от 3–5 до 10 см. Около 1,3% исследуемой площадки занято скотобойными тропами с распыленным верхним горизонтом.

В целом следует отметить, что возможности крупномасштабного ландшафтного картографирования с использованием данных дистанционного зондирования Земли и геоинформационных технологий еще до конца не раскрыты и требуют дальнейших исследований.

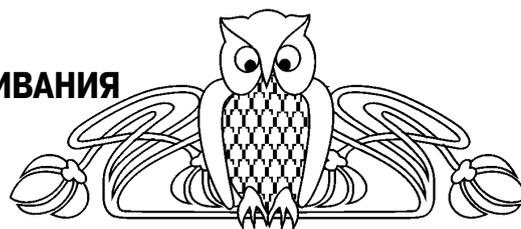
## Библиографический список

1. Растительность Каспийской низменности между реками Волгой и Уралом / Под ред. Б.А. Келлера: В 2 т. М.; Л., 1936. Т. 1. 295 с.
2. Николаев В.А., Копыл И.В., Пичугина Н.В. Фациальная структура полупустынного ландшафта в Северном Прикаспии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5, Геогр. 1995. № 2. С. 74–83.
3. Макаров В.З., Пичугина Н.В., Павлова А.Н. Некоторые аспекты методики составления ландшафтных карт разного масштаба (на примере Саратовского Заволжья) // Поволжский экологический журнал. 2008. № 4. С. 293–303.
4. Пичугина Н.В. Ландшафтная структура полупустынного Саратовского Приузенья // Ландшафтоведение: теория, методы, региональные исследования, практика: Материалы XI Междунар. ландшафтной конф. Москва, 22–25 августа, 2006 г. / Отв. ред. К.Н. Дьяконов. М., 2006. С. 230–232.
5. Пичугина Н.В., Завьялов Е.В. Александрово-Гайские курьютки. Леляевская комплексная полупустыня. Лиманы Глубокий, Крутой // Особо охраняемые природные территории Саратовской области: национальный парк, природные микрозаповедники, памятники природы, дендрарий, ботанический сад, особо охраняемые геологические объекты / Науч. ред. В.З. Макаров; Комитет охраны окружающей среды и природопользования Саратовской области. Саратов, 2007. С. 48–54.



УДК 551.55

## АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛЯ ВЫРАВНИВАНИЯ СКОРОСТЕЙ ВЕТРА НА ЮГО-ВОСТОКЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ



А.Б. Рыжлов

Саратовский государственный университет,  
кафедра метеорологии и климатологии  
E-mail: kafmeteo@mail.ru

Проведен статистический анализ наиболее часто используемых законов распределения, применяемых для расчета вероятности различных скоростей ветра: Пуассона, нормального, логнормального и Вейбулла–Гудрича – с применением критериев Пирсона и Колмогорова. Выявлено, что неоспоримым преимуществом по двум указанным критериям обладает распределение Вейбулла–Гудрича. Этот закон рекомендуется использовать для математического описания ветрового режима юго-востока европейской территории России.

**Ключевые слова:** климат, скорость ветра, распределение, закон распределения, погрешности, моделирование ветрового режима.

### Analysis of Different Distribution Laws Using for Wind Speed Leveling on the South-West of European Part of Russian Federation

А.В. Rikhlov

Statistical analysis of the most popular and often used laws of distribution, that used for probability estimation of various wind speed: Puasson, normal, longnormal and Viebulla-Gudrich laws with application of Pirson and Kolmogorov criteria was carried out. This law is recommended to use for wind conditions mathematical description for on the south-west of european part of Russian Federation.

**Key words:** climate, wind speed, distribution, distribution law, errors, wind condition modeling.

В метеорологии с очень давних времен делались попытки вывести «всеобщий» закон распределения скоростей ветра. Еще в 1889 г. Б.И. Срезневский [1] показал возможность применения к описанию распределения скоростей ветра у поверхности земли закона Максвелла, известного в кинетической теории газов. Позднее неоднократно повторялись попытки найти теоретическим путем такое распределение ветра, которое совпадало бы с наблюдаемым [2–4]. В постановке этой задачи выбирались разные масштабы осреднения. Они были небольшими при изучении порывистости и значительными при изучении климатических особенностей.

К сожалению, в выполненных многочисленных работах, несмотря на математическую их строгость, не всегда производилось сравнение с наблюдающимся в природе ветровым режимом.

Естественно, результаты этих работ не внедрены в метеорологическую практику. Некоторым исключением являются работы английских метеорологов Брукса и Карузерс, которые применили статистические законы распределения ветра к климатологии ветра верхних уровней [5]. В настоящее время в ряде научных публикаций имеются указания, что распределение скоростей ветра по всей совокупности наблюдений может успешно описываться нормальным и логнормальными законами распределения, а также распределениями Пуассона и Вейбулла. На основе положений статистики нами проведено исследование соответствия этих теоретических законов распределений эмпирическому ветровому режиму на рассматриваемой территории с целью выявления наиболее оптимального.

На основании изучения распределения ветров И.Г. Гутерманом [6] показывается, что к климатическому распределению скоростей в свободной атмосфере с успехом может быть применен закон распределения Максвелла. В дифференциальной форме он может быть записан следующим образом:

$$f(v) = \frac{\pi v}{2\bar{v}^2} e^{-\frac{\pi v^2}{4\bar{v}^2}} \quad (1)$$

или в интегральной форме

$$F(v) = e^{-\frac{\pi v^2}{4\bar{v}^2}}, \quad (2)$$

где  $v$  – индивидуальное значение модуля скорости ветра;  $\bar{v}$  – средняя многолетняя скорость (т.е. среднее из всех значений модулей векторов ветра за период осреднения);  $f(v)$  – повторяемость или дифференциальная вероятность;  $F$  – интегральная вероятность (обеспеченность). Для определения  $F(v)$  требуется знать лишь среднюю скорость  $\bar{v}$ . В аэроклиматологии принято характеризовать поле скорости ветра даже при наличии ряда 5–10-летней продолжительности. При этом вычисляются средняя скорость ветра  $\bar{v}$  и повторяемость скоростей различных значений по градациям.

Для наземных наблюдений по флюгеру идея применения распределения Максвелла позднее была оставлена. Опытные данные не подтвердили соответствие фактического распределения теоретическому, главным образом из-за увеличенного числа штилей у поверхности земли. Однако простота восстановления режима ветра всего лишь



по средней скорости приводит к использованию его при решении отдельных задач и сегодня. Применение законов распределения ветра для наблюдений за ним на высоте флюгера подробно анализируется в работе Гриневича [3]. Исследование закономерностей распределения ветра также занимались Хессельберг [7], Кузнецов [8], Омшанский [9].

Выравнивание распределений скоростей ветра – нетривиальная задача. Подбор закона распределения зависит от многих факторов, в том числе и от поставленной задачи. Для определения расчетных скоростей ветра редкой повторяемости, в частности максимальных скоростей ветра, возможных в той или иной местности, основным требованием является надежное совпадение эмпирических и теоретических распределений в области высоких значений. Вид закона распределения зависит и от используемой совокупности наблюдений. В частности, исходной совокупностью могут служить срочные наблюдения исследуемой характеристики за какой-либо период или же выборочные месячные и годовые максимумы. В результате исследований было высказано мнение, что если привлечена вся совокупность наблюдений, наиболее оптимальным является закон распределения Вейбулла.

Двухпараметрический закон Вейбулла–Гудрича имеет вид

$$F(V > v) = \exp\left(-\frac{v}{\beta}\right)^\gamma, \quad (3)$$

где  $F$  – функция распределения (обеспеченности) скорости ветра;  $\beta$  – масштабный множитель, близкий к средней скорости ветра;  $\gamma$  – параметр, характеризующий форму распределения.

Такая аппроксимация применительно к распределению скорости ветра впервые была предложена советскими учеными и широко использовалась для статистической экстраполяции максимальных скоростей ветра. Впоследствии аппроксимация распределения скорости ветра законом Вейбулла–Гудрича использовалась для той же цели рядом авторов [10, 11, 12].

К сожалению, возможности, вытекающие из применения аппроксимации распределения скорости ветра законом Вейбулла–Гудрича, использованы далеко не полностью. Более того, параметры этого распределения не нашли отражения в [13, 14]. Наиболее массовые расчеты были проведены лишь С.Д. Кошинским [10], который выполнил и ряд методических проработок, показав преимущества упомянутой аппроксимации. В этом отношении определенный интерес представляют работы зарубежных исследователей, которые, в частности, использовали указанную аппроксимацию для оценки ветроэнергоресурсов на территории США [15].

В климатологической практике для теоретического выравнивания скоростей ветра в свое вре-

мя достаточно часто использовался нормальный (гауссовский) закон распределения. Вообще он является предельным для многих других теоретических распределений и образуется тогда, когда каждое значение случайной величины можно рассматривать как сумму большого числа независимых величин. Для надежной оценки параметров данного распределения требуется большой объем выборки. Плотность вероятности нормального закона определяется двумя параметрами: математическим ожиданием и дисперсией. Он задается для плотности и функции распределения выражениями:

$$f(v) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(v-\bar{v})^2}{2\sigma^2}}$$

$$\text{или } F(V < v) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^v e^{-\frac{(v-\bar{v})^2}{2\sigma^2}}, \quad (4)$$

где  $\bar{v}$  и  $\sigma$  – параметры распределения – среднее значение и среднее квадратическое отклонение скорости ветра. Для расчетов по этим формулам, прежде всего, вводят новую переменную  $t$ , которая рассчитывается по формуле

$$t = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}. \quad (5)$$

Такой прием часто используется в климатических расчетах. Он удобен тем, что позволяет свести размерную случайную величину со средним значением  $\bar{v}$  и средним квадратическим отклонением  $\sigma$  к безразмерной величине  $t$ . Для случайной величины  $t$  существуют статистические таблицы, содержащиеся во многих учебниках по теории вероятностей и математической статистике. Они значительно облегчают вычисления.

При использовании повторяемости скорости ветра по градациям значений следует иметь в виду, что внутри градаций они могут быть распределены неравномерно, особенно для редких значений. В случае использования этих данных, по мнению Л.Л. Брагинской [12], М.В. Завариной [16], Л.Е. Анапольской и Л.С. Гандина и др. [17] приемлемыми законами распределения являются логнормальный, Максвелла, Вейбулла–Гудрича. Имеются работы, в которых утверждается, что распределение метеорологических элементов, имеющих физический предел с одной стороны (таких как количество осадков, высота нижней границы облачности и скорость ветра), хорошо описывается логнормальным распределением.

В отличие от нормального, логнормальное распределение формируется тогда, когда каждое значение случайной величины можно рассматривать не в качестве суммы, а как произведение большого количества случайных величин. В этом случае нормально распределяется логарифм случайной величины.



Функция логнормального распределения имеет вид

$$F(V < v) = \frac{1}{\sigma_{lgv}\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{lgv} e^{-\frac{(lgv-\overline{lgv})^2}{2\sigma_{lgv}^2}} . \quad (6)$$

Для того чтобы воспользоваться этим выражением, надо определить его параметры  $\overline{lgv}$  и  $\sigma_{lgv}$ .

При выборе типа уравнения распределения обычно преследуют две цели: с одной стороны, стремятся увеличить точность интерполяции эмпирических распределений, с другой – уменьшить объем вычислительных работ, связанных с определением параметров уравнения. В результате обработки данных наблюдений получают эмпирическую зависимость распределения, которая характеризует частоту различных значений исследуемой величины. Эмпирическое распределение всегда получается на основании ограниченного числа наблюдений и, как правило, не позволяет объективно судить о законе, которому подчиняется распределение генеральной совокупности значений изучаемой величины. Для установления такого закона обычно вводится предположение (гипотеза), что статистический ряд, лежащий в основе эмпирического распределения, представляет собой случайную выборку из генеральной совокупности, имеющей закон распределения  $f(v)$ . Параметры этой функции, являющейся теоретическим законом распределения, как уже говорилось, вычисляются по данным наблюдений. Естественно, что между эмпирическим и теоретическим рядами распределения всегда будет некоторое расхождение.

Возникает вопрос, можно ли получившиеся расхождения считать несущественными, имеющими случайный характер, обусловленный ограниченным объемом выборки, или же они являются существенными и противоречат гипотезам, согласно которым данный статистический ряд можно рассматривать как выборку из генеральной совокупности с принятым теоретическим законом распределения? Задача, таким образом, сводится к тому, чтобы установить, носит ли расхождение случайный характер или нет.

Для решения указанной задачи необходимо, прежде всего, выбрать оправданную меру расхождения между теоретическим и эмпирическим рядами. Оценка согласия между эмпирическим и теоретическим распределениями осуществляется на основании принятой гипотезы о случайном характере расхождения. В результате чего мера расхождения является случайной величиной, для которой может быть найден интегральный закон распределения. Далее пользуются «принципом практической невозможности маловероятных событий». Согласно этому принципу событие,

обладающее малой вероятностью, считается практически невозможным. Поэтому если оно все же наблюдается, то это говорит о несостоятельности гипотезы, на основании которой была определена его вероятность. Для практического применения данного принципа необходимо задаться уровнем значимости ( $P_0$ ) – это вероятность принятия случайного расхождения за систематическое. Сам выбор величины уровня значимости является условным. Чаще всего принимают  $P_0 = 0,05 = 5\%$ .

Существует ряд критериев согласия, основанных на изучении распределения различным образом составленной меры расхождения. В климатологической практике наиболее широко используются критерии Пирсона и Колмогорова. Но ни один из критериев согласия не может рассматриваться как достаточный, ведь в его основе лежит условно установленная мера расхождения и известная погрешность в оценке практически невозможных событий. Поэтому необходимо производить оценку по крайней мере по двум критериям согласия.

За меру расхождения теоретического и эмпирического распределений Пирсон принимает величину  $\chi^2$ , определяемую формулой

$$\chi^2 = \sum \frac{\left(\frac{m_i}{n} - p_i\right)^2}{p_i}, \quad (7)$$

где  $n$  – объем совокупности;  $\frac{m_i}{n}$  – относительные частоты эмпирического распределения;  $p_i$  – соответствующие теоретические относительные частоты.

Для случайной величины  $\chi^2$  был найден интегральный закон распределения:

$$P(\chi^2 > \chi_0^2) = 1 - F(\chi_0^2, g), \quad (8)$$

где  $g$  – число степеней свободы. Число степеней свободы вычисляется по формуле

$$g = s - 1, \quad (9)$$

где  $s$  – число градаций.

Если между теоретическими и опытными частотами существуют некоторые дополнительные связи, число которых  $l$ , то

$$g = s - 1 - l. \quad (10)$$

Так, если при расчетах частот по нормальному закону распределения  $\bar{v}$  и  $\sigma$  оценивались по опытными данным, то этим устанавливаются два дополнительных соотношения. В таком случае  $l = 2$ , а  $g = s - 3$ . Если  $H_0$  – нулевая гипотеза, состоящая в том, что с вероятностью 99% результаты измерения скорости ветра согласуются с функци-



ей распределения, то при  $\chi^2 \leq \chi_{0,99}^2$  гипотеза  $H_0$  принимается, в противном случае отвергается.

А.Н. Колмогоров предложил другой критерий согласия, который в отличие от критерия Пирсона основан на сравнении интегральных законов опытного и теоретического распределений. В качестве меры расхождения А.Н. Колмогоров использует величину

$$\lambda = D\sqrt{n}, \quad (11)$$

где  $n$  – объем совокупности;  $D$  – соответствует наибольшему расхождению теоретической и эмпирической обеспеченностей. Согласно теореме Колмогорова для различных уровней значимости  $P_0$  можно рассчитать те значения  $\lambda_0$ , которые не должны превышать полученная из опыта величина  $\lambda$ . Практическое применение критерия  $\lambda$  для оценки степени близости экспериментального и теоретического распределений сводится к следующему. Задав уровень значимости  $P_0 = 5\%$ , по специальным таблицам ((2)) определяют допустимое значение критерия согласия  $\lambda_0$ . Затем по данным теоретического и статистического рядов вычисляют величины различий, определяют наибольшую из них и оценивают значение  $\lambda$ . Если найденное таким образом  $\lambda$  окажется больше  $\lambda_0$ , то при данном уровне значимости гипотеза должна быть отвергнута. В противном случае между теоретическим и эмпирическим распределениями существует удовлетворительное согласие.

Важным вопросом при рассмотрении теоретического и эмпирического распределений является определение точности расчета статистических характеристик. Если их точность не оценена или оценена неправильно, использование ее в климатических исследованиях может привести к неверным выводам. Рассматривая статистическую совокупность значений метеорологических величин как выборку из генеральной совокупности, статистические ошибки климатических характеристик оценивают по отношению к соответствующим характеристикам генеральной совокупности (неявно предполагаем, что нет закономерных изменений климата).

Средние погрешности климатических характеристик определяются средними квадратическими отклонениями этих характеристик из выборочных совокупностей данного объема от соответствующих характеристик генеральной совокупности. Если сделать допущение о стационарности метеорологических процессов и отсутствии внутрирядной связности, то формулу средней ошибки относительной частоты данной градации можно записать следующим образом:

$$\sigma_p \approx \sqrt{\frac{P(1-P)}{n}}, \quad (12)$$

где  $n$  – объем совокупности;  $P$  – эмпирическая повторяемость скоростей ветра.

Следуя изложенным выше подходам и принципам, выработанным российской и зарубежной наукой, нами впервые решена задача выбора наиболее оптимального теоретического закона распределения скоростей ветра на юго-востоке европейской территории России (ЕТР), включающей Астраханскую, Волгоградскую, Оренбургскую, Саратовскую, Пензенскую, Самарскую, Ульяновскую области и Татарстан. К исследованию привлечены нормальный и логнормальный законы распределения, а также Максвелла и Вейбулла–Гудрича, применяемые для выравнивания ветрового режима различных территорий. В качестве исходных данных использовались многолетние данные о повторяемости скоростей ветра по градациям, содержащиеся в «Справочнике по климату СССР» [13] и «Научно-прикладном справочнике по климату СССР» [18]. Параметры, входящие в теоретические распределения, рассчитывались по этим данным, что влекло снижение степеней свободы для определения критического значения  $\chi^2$  Пирсона в соответствии с уравнением (10).

Для оценки критериального значения  $\chi^2$  Пирсона важно было оценить число степеней свободы, зависящее не только от количества градаций, но и от дополнительных соотношений. При выравнивании распределения скоростей ветра по нормальному и логнормальному законам число дополнительных соотношений  $l = 2$ , по закону Максвелла  $l = 1$ , а по закону Вейбулла–Гудрича  $l = 3$ .

Как показали расчеты (табл. 1), по критерию  $\chi^2$  нормальный и логнормальный законы распределения нельзя применять к выравниванию ветрового режима на рассматриваемой территории. Расчетные значения критерия Пирсона существенно выше критического, и, следовательно, гипотезы о том, что распределение скоростей ветра подчиняется этим законам, должны быть отвергнуты. Для законов распределения Максвелла и Вейбулла–Гудрича расчетные значения  $\chi^2$  существенно ниже критических  $\chi_0^2$ . Поэтому можно считать, что по данному критерию для выравнивания скоростного режима ветра можно использовать указанные законы. Отметим, что значения  $\chi^2$  для упомянутых законов распределения в несколько раз меньше критического  $\chi_0^2 = 16,9$ , а это повышает надежность принятия достоверной гипотезы. Расчеты выполнены для всех метеостанций юго-востока ЕТР, но ввиду громоздкости таблиц и аналогичности результатов в табл. 1 приведены значения критерия Пирсона лишь для метеостанций Пензенской области.



Таблица 1

Критерии согласия Пирсона  $\chi^2$  по метеостанциям Пензенской области

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Закон Максвелла													
Анучино	5,3	6,2	6,1	3,3	3,4	1,9	1,4	2,2	2,8	3,8	4,6	6,1	3,7
Земетчино	4,3	4,5	4,0	2,5	3,4	2,5	2,5	4,2	4,0	3,7	3,3	4,5	3,8
Пенза	4,8	4,4	5,2	4,0	3,9	3,4	3,1	3,3	3,6	5,0	4,2	5,0	3,9
Нормальный закон													
Анучино	15,7	16,2	16,8	14,0	14,3	13,0	10,9	11,7	14,9	15,2	15,3	17,9	13,6
Земетчино	12,0	12,4	12,6	11,6	12,4	10,8	8,4	7,3	9,9	10,9	12,9	14,5	10,6
Пенза	15,8	15,6	16,1	15,1	12,6	11,8	11,5	11,8	18,5	17,1	15,3	16,0	14,1
Логнормальный закон													
Анучино	25,2	23,5	25,9	21,0	27,6	20,2	18,0	22,1	27,8	28,7	29,0	32,2	25,5
Земетчино	25,2	23,5	25,9	21,0	27,6	20,2	18,0	22,1	27,8	28,7	29,0	32,2	25,5
Пенза	25,2	23,5	25,9	21,0	27,6	20,2	18,0	22,1	27,8	28,7	29,0	32,2	25,5
Закон Вейбулла–Гудрича													
Анучино	3,4	4,2	4,4	2,5	2,5	1,9	1,1	1,2	2,7	3,4	3,5	5,0	2,4
Земетчино	2,0	2,4	2,1	1,6	2,1	1,0	0,5	0,3	0,9	1,4	2,2	3,2	1,3
Пенза	3,9	3,8	4,1	3,0	2,4	1,7	1,2	1,3	3,6	4,2	3,9	4,0	2,7

Критерий Колмогорова  $\lambda$  сильно зависит от объема выборки, поскольку прямопропорционален  $\sqrt{N}$ . В «Справочнике по климату СССР» издания 1960-х гг. по большинству метеостанций таблица повторяемости скоростей ветра по градациям составлена в основном за период 1936–1960 гг., в это время измерения производились в основном по флюгеру 4 раза в сутки. Повторяемость конкретной градации скорости ветра представляет собой отношение суммы числа случаев определенных значений к общему числу наблюдений, включая штили. Данные получены непосредственно путем подсчета из ряда наблюдений срочные для каждого месяца и за год в целом. Поэтому объем выборки для конкретного месяца и года в целом определится произведением числа сроков наблюдений, числа дней в месяце или году и продолжительности расчетного периода. В «Научно-прикладном справочнике по климату СССР» издания 1980-х годов аналогичная таблица составлена за период 1966–1980 гг., когда наблюдения производились уже анеморумбометром

М–63 8 раз в сутки. В связи с этим при приближительном равенстве периодов наблюдений объем выборки в данном издании почти в два раза больше и составил 43 850 случаев за год, а корень из этого числа – чуть более 209. Погрешности расчета повторяемости скоростей ветра в градации составляют около 1%. В связи с этим возникает ситуация, при которой даже при максимуме различия теоретической и эмпирической обеспеченностей на уровне погрешностей велика вероятность отвергнуть тот или иной приемлемый закон. Кроме того, относить к практически невозможным событиям 5% случаев общего объема выборки нам представляется чрезмерным. Оправданнее расчеты производить для 1%-го уровня значимости, для него  $\lambda_{крит} = 1,627$ .

Как следует из табл. 2, для нормального, логнормального законов и для распределения Максвелла расчетные значения  $\lambda$  на всех метеостанциях и во все месяцы и год в целом значительно выше критического. Лишь распределение Вейбулла–Гудрича не противоречит гипотезе соответствия эмпирическому скоростному режиму.

Таблица 2

Критерии Колмогорова  $\lambda$  для метеостанций Пензенской области

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Закон Максвелла													
Анучино	4,51	3,99	3,76	4,34	4,62	5,52	5,73	5,95	4,62	4,15	4,09	3,80	4,27
Земетчино	4,19	4,19	4,46	4,32	3,87	4,89	6,62	5,93	4,97	5,16	4,03	3,95	4,41
Пенза	3,00	2,59	2,16	2,12	2,07	4,09	4,33	4,24	3,18	2,28	2,51	1,95	2,93
Нормальный закон													
Анучино	4,76	4,61	4,51	4,59	4,59	4,51	5,12	4,93	4,11	4,42	4,59	4,26	4,89



Окончание табл. 2

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Нормальный закон													
Земетчино	5,79	5,51	5,41	5,18	5,12	5,12	6,10	6,87	5,70	5,59	4,94	4,62	5,84
Пенза	4,42	4,20	4,43	4,43	5,30	5,04	4,93	4,85	3,45	4,18	4,35	4,50	4,71
Логнормальный закон													
Анучино	3,09	2,56	3,30	4,30	4,14	3,98	4,50	4,61	4,31	3,73	3,36	3,57	3,77
Земетчино	3,41	3,60	3,13	3,69	4,02	3,79	4,13	3,35	3,80	0,71	3,85	3,70	3,63
Пенза	4,09	2,07	3,86	4,47	3,06	2,49	3,61	3,84	4,84	4,27	4,19	4,61	4,16
Закон Вейбулла–Гудрича													
Анучино	0,65	1,39	1,63	1,41	1,20	0,92	0,67	1,58	1,61	1,62	1,43	1,62	1,61
Земетчино	0,25	1,50	0,15	1,39	0,48	0,55	0,30	1,53	1,00	1,56	1,61	1,22	1,38
Пенза	1,59	1,56	1,30	1,29	0,49	1,20	1,53	0,34	1,54	1,51	1,08	1,40	1,50

Принимая во внимание результаты испытания гипотез по двум критериям согласия, следует констатировать, что наиболее приемлемым теоретическим законом следует признать распределение Вейбулла–Гудрича, поэтому целесообразно использовать его для выравнивания реального ветрового режима. Материалы, представленные в данном исследовании, являются существенным дополнением к уже опубликованным в других работах характеристикам ветрового режима пограничного слоя атмосферы. Распределение Вейбулла–Гудрича может найти широкое применение при решении ряда практических задач, связанных с учетом особенностей распределения скоростей ветра в нижнем слое атмосферы. Важнейшими из таких задач являются расчеты, ветроэнергетических ресурсов территории, максимальных скоростей ветра различной периодичности, ветровых нагрузок на различные сооружения.

### Библиографический список

1. Срезневский Б.И. О силе ветра в Петербурге и Кронштадте // Записки по гидрографии. 1889. Вып. 2. С. 15–23.
2. Кобышева Н.В., Гольберг М.А. Методические указания по статистической обработке метеорологических рядов. Л., 1990. 83 с.
3. Гриневич Г.А. Основы энергетической характеристики режима ветра. М., 1963. С. 26–85.
4. Гриневич Г.А. Опыт разработки элементов малого ветроэнергетического кадастра Средней Азии и Казахстана. Ташкент, 1952. 152 с.
5. Брукс К., Карузерс Н. Применение статистических методов в метеорологии. Л., 1963. 416 с.
6. Гутерман И.Г. О статистическом законе распределения скоростей ветра // Метеорология и гидрология. 1961. № 9. С. 13–22.
7. Hesselberg und Byorkdal. Uber das Verteilungsgesetz der Windunruhe // Beitrage z. Physik. d. fr. Atm. 1929. Vol. 15. 121 p.
8. Кузнецов Е.С. Закон распределения случайного вектора // ДАН СССР. II. № 3–4. 1935.
9. Ошманский М.А. Обработка наблюдений над ветром // Тр. ГГО. 1937. Вып. 18. Теоретическая метеорология (5).
10. Кошинский С.Д. Режимные характеристики сильных ветров на морях Советского Союза: В 2 ч. Ч. 1. Каспийское море. Л., 1975. 412 с.; Ч. 2. Север Японского, Охотское и Беренгово моря. Л., 1978. 391 с.
11. Кошинский С.Д. Из опыта расчета некоторых статистических характеристик ветра и параметров функции распределения вида  $f(x) = \exp\left[-\left(\frac{v}{\beta}\right)^{\gamma}\right]$  на электронно-вычислительных машинах // Тр. НР ГМЦ СССР. 1969. Вып. 2. С. 44–53.
12. Брагинская Л.Л., Каган Р.Л. К вопросу об аппроксимации распределения скоростей ветра // Тр. ГГО. 1982. Вып. 447. С. 49–57.
13. Справочник по климату СССР: В 3 ч. Ч. 3. Л., 1967. Вып. 9.
14. Анапольская Л.Е. Режим скоростей ветра на территории СССР. Л., 1961. 199 с.
15. Justus C.G., Haegreaves W.R., Yalcin A. Nationwide assessment of potential output from wind-powered generators // J. Appl. Met. 1976. Vol. 15, № 7. P. 673–678.
16. Заварина М.В. Расчетные скорости ветра на высотах нижнего слоя атмосферы. Л., 1971. 162 с.
17. Анапольская Л.Е., Гандин Л.С. Ветроэнергетические ресурсы и методы их оценки // Метеорология и гидрология. 1978. № 7. С. 11–17.
18. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Л., 1988. Сер. 3. Вып. 12–13.



УДК 551.55

## К ВОПРОСУ ОБ АППРОКСИМАЦИИ СКОРОСТЕЙ ВЕТРА НА ЮГО-ВОСТОКЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ЗАКОНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЙБУЛЛА–ГУДРИЧА

А.Б. Рыхлов

Саратовский государственный университет,  
кафедра метеорологии и климатологии  
E-mail: kafmeteo@mail.ru



Рассматриваются различные методы оценки параметров распределения Вейбулла–Гудрича для выравнивания скоростей ветра на юго-востоке европейской территории России. Для этой цели рекомендуется использовать методы моментов и наименьших квадратов, минимизирующих объем вычислительных работ. Параметры распределения, оцененные с использованием этих параметров, позволяют надежно определять режим скоростей ветра, их средние значения и характеристику изменчивости на юго-востоке европейской территории России.

**Ключевые слова:** скорость ветра, повторяемость, обеспеченность, режим, распределение, параметр, погрешность.

### On the Issue of Wind Speed Approximation by Viebulla– Gudrich Law on the South-West of European Part of Russian Federation

А.В. Rikhlov

Different methods of characteristic Viebulla-Gudrich distribution estimation for wind speed leveling on the south-west of European part of Russian Federation are considered. For this purpose is recommended to use moments methods and least-squares method, that minimized the volume of calculating works. Distribution characteristics estimated by these methods allow identifying wind speed conditions, mean values and measures of variability on the south-west of European part of Russian Federation.

**Key words:** wind speed, periodicity, provision, conditions, distribution, characteristic, error.

Наиболее оптимальным законом для выравнивания скоростного режима ветра, удовлетворяющим критериям Пирсона и Колмогорова, следует признать двухпараметрическое распределение Вейбулла–Гудрича, имеющее вид

$$F(v) = \exp \left[ - \left( \frac{v}{\beta} \right)^\gamma \right], \quad (1)$$

где  $v$  – скорость ветра;  $\beta$  и  $\gamma$  – параметры распределения;  $F$  – интегральная вероятность. Для надежного применения этого закона необходимо оценить его параметры  $\beta$  и  $\gamma$ . Оценку параметров данного распределения можно осуществить несколькими методами: графическим, методом наименьших квадратов, максимального правдоподобия, моментов. Ранее, когда средства вычислительной техники были ограничены, наиболее широко использовался предложенный в [1] гра-

фический метод, заключающийся в использовании специальной вероятностной клетчатки. При построении такой клетчатки в системе координат  $x = \ln v$ ,  $y = \ln(-\ln F)$  формула (1) преобразуется к виду

$$y = \gamma x - \gamma \ln \beta, \quad (2)$$

т.е. в приведенной системе координат функция распределения может быть аппроксимирована прямой. Такие графики очень удобны для статистической экстраполяции данных короткорядных наблюдений, поскольку при этом можно избежать некоторых промежуточных вычислений и даже самого определения параметров  $\beta$  и  $\gamma$ . При необходимости вычисления указанных параметров следует учитывать масштаб, в котором выполнен график. В частности, при использовании рекомендуемых в [1] бланков клетчатки, изготовленных в Ленинградском отделении ТЭП, полученное значение  $\gamma$  оказывается, по расчетам Л.Л. Брагинской [2], заниженным в 1,29 раз.

Достоинством графического метода является его наглядность. Построив такие графики, можно визуально оценить спрямляемость, тесноту связи и разброс точек относительно прямой. Нами такие графики построены для всех метеостанций региона. Все они однозначно подтвердили хорошую спрямляемость. Для иллюстрации этого положения на рис. 1 приведены соответствующие графики выравнивания скоростей распределением Вейбулла по метеостанции Бирючья Коса (Астраханская область) для центральных месяцев сезонов.

Такие графики были построены для более чем 50 метеостанций региона для всех месяцев и года в целом. Все они подтвердили надежную спрямляемость. На рис. 2 они приведены лишь для некоторых станций региона для годовых значений.

Как видно на рис. 2, спрямляющий эффект расположения точек в поле используемых осей координат выражен ярко. Это свидетельствует о том, что выбранный закон распределения скоростей ветра действительно соответствует реальному ветровому режиму на всей рассматриваемой территории. Далее следует оценить параметры  $\beta$  и  $\gamma$  распределения Вейбулла–Гудрича и получить аналитические выражения, позволяющие воспроизводить вероятность различных скоростей ветра с применением ЭВМ.

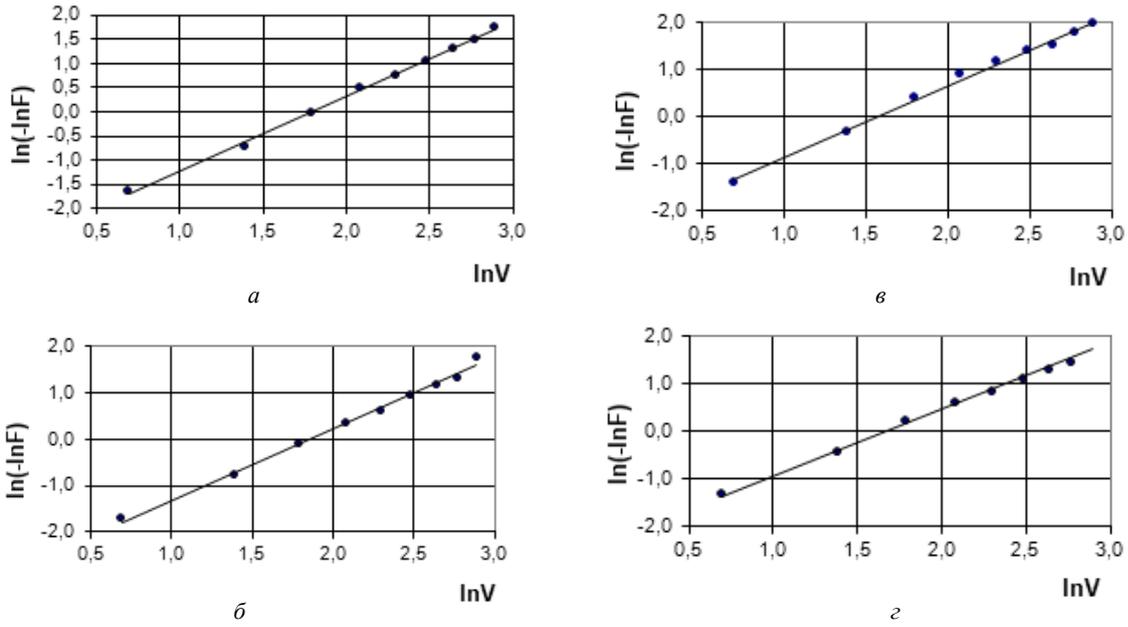


Рис. 1. Фактические обеспеченности скоростей ветра по месяцам для метеостанции Бирючья Коса (Астраханская область): *а* – январь; *б* – апрель; *в* – июль; *г* – октябрь

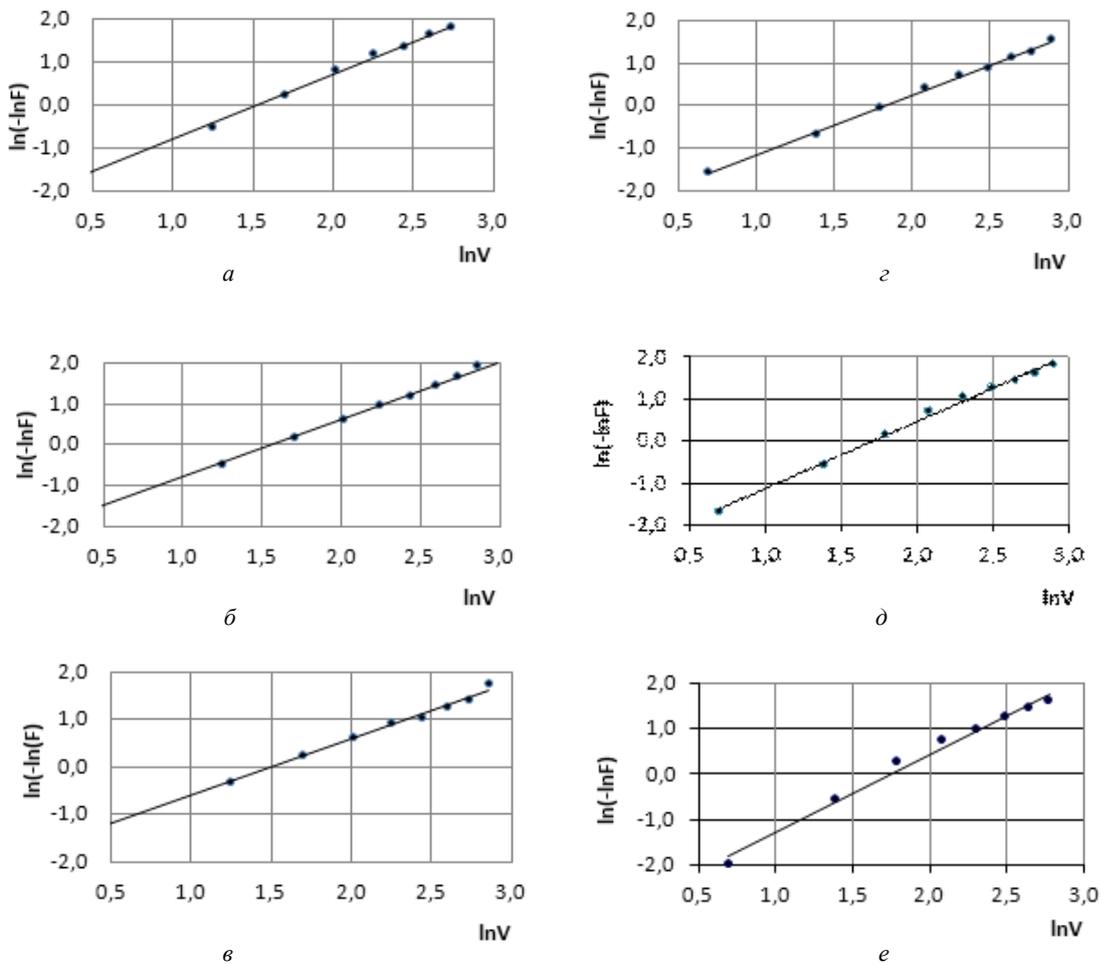


Рис. 2. Прямые распределения скоростей ветра для закона Вейбулла–Гудрича: *а* – Казань; *б* – Куйбышев; *в* – Саратов; *г* – Оренбург; *д* – Волгоград; *е* – Астрахань



При использовании графического метода параметр  $\gamma$  определяется как угловой коэффициент прямой на графике или тангенс угла ее наклона к оси, на которой отложен  $\ln(v)$ . Если положить  $v = \beta$ , то из формулы (1) получим  $F(v) = 0,368$ , поэтому  $\beta$  оценивается как скорость ветра, соответствующая данной вероятности. Недостатком графического метода является известный субъективизм, который допускается при проведении прямой по эмпирическим точкам. Учитывая это, С.Д. Кошинский [3] рекомендовал и использовал метод наименьших квадратов, позволяющий по заданным значениям  $P(v)$  и  $v$  объективно оценить значения  $\beta$  и  $\gamma$ , соответствующие линейной зависимости (2). Они по данным об обеспеченности различной скорости ветра для градаций рассчитываются по формулам:

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(-\ln P_i) \cdot \ln v_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(-\ln P_i) \cdot \sum_{i=1}^n \ln v_i}{\sum_{i=1}^n (\ln v_i)^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n \ln v_i \right)^2}, \quad (3)$$

$$\beta = \exp \left\{ -\frac{1}{n\gamma} \sum_{i=1}^n [\ln(-\ln P_i) - \gamma \cdot \ln v_i] \right\}, \quad (4)$$

где  $v_i$  и  $P_i$  – значения скорости ветра и обеспеченность значений скорости ветра, превышающих нижний предел  $i$ -й градации;  $n$  – число градаций, на которые разбит диапазон изменений скорости ветра. В расчетах по формулам (3)–(4) С.Д. Кошинский рекомендует исключать данные крайних градаций, т.е. используются только те значения, при которых

$$0 < P_i < 1. \quad (5)$$

Это особенно важно, потому что в диапазоне скоростей менее 1 м/с и более 20 м/с измерения производятся с большими погрешностями, они способны повлиять на адекватность оценок параметров.

Следует, однако, иметь в виду, что данная процедура, обеспечивая минимальную среднюю квадратическую ошибку построения прямой, по мнению Л.Л. Брагинской [2], вовсе не гарантирует наибольшую точность аппроксимации исходного распределения. Более того, такая процедура из-за нелинейности преобразования координат, вообще говоря, может приводить к смещенности оценок моментов распределения. В силу этого для аппроксимации распределения скоростей ветра было предложено использовать метод максимального правдоподобия, который свободен от указанных недостатков. При использовании этого метода [2] параметры  $\beta$  и  $\gamma$  находятся путем решения уравнений максимального правдоподобия, которые для сгруппированных данных приводятся к виду

$$Q = \frac{1}{\gamma} + \sum_{i=1}^n P_i \cdot \ln v_i - \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot v_i^\gamma \cdot \ln v_i}{\sum_{i=1}^n P_i \cdot v_i^\gamma} = 0, \quad (6)$$

$$\beta = \left( \sum_{i=1}^n P_i \cdot v_i^\gamma \right)^{\frac{1}{\gamma}}, \quad (7)$$

Трансцендентные уравнения (6)–(7) решаются численно, методом последовательных приближений, что требует весьма трудоемких вычислений при ручных и массовых расчетах. Однако при выполнении расчетов на ЭВМ, что необходимо уже при использовании метода наименьших квадратов, это усложнение расчетов не является принципиальным.

Перечисленные выше методы требуют сведений о распределении скорости ветра во всем диапазоне наблюдаемых значений или, по крайней мере, в большей его части. Учитывая связь между параметрами  $\beta$  и  $\gamma$  и моментами распределения, для их оценки можно использовать метод моментов, который позволяет получить параметры распределения Вейбулла–Гудрига по любым двум моментам распределения. Следует заметить, что этот метод является исключительно универсальным и эффективным при решении весьма широкого круга как теоретических, так и практических задач в самых различных отраслях знания. В самом деле, можно легко показать, что при использовании распределения Вейбулла–Гудрича для начальных моментов порядка  $k$  имеет место соотношение

$$M_k(\beta, \gamma) = \beta^k \Gamma \left( 1 + \frac{k}{\gamma} \right), \quad (8)$$

где  $\Gamma$  – гамма-функция. Отсюда следует, что средняя скорость ветра  $v$ , среднее квадратическое отклонение  $\sigma$  и коэффициент вариации  $c_v$  могут быть определены по формулам:

$$\bar{v} = \beta \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\gamma} \right), \quad (9)$$

$$\sigma^2 = \beta^2 \left[ \Gamma \left( 1 + \frac{2}{\gamma} \right) - \Gamma^2 \left( 1 + \frac{1}{\gamma} \right) \right], \quad (10)$$

$$C_v = \frac{\sigma}{v} = \frac{\sqrt{\Gamma \left( 1 + \frac{2}{\gamma} \right) - \Gamma^2 \left( 1 + \frac{1}{\gamma} \right)}}{\Gamma \left( 1 + \frac{1}{\gamma} \right)}. \quad (11)$$

Таким образом, располагая данными о средней скорости ветра и коэффициенте вариации, можно однозначно определить параметры  $\beta$  и  $\gamma$  распределения Вейбулла–Гудрича.



Величины  $\nu$  и  $\sigma$  с использованием параметров распределения, рассчитанных методом максимального правдоподобия, как отмечала Л.Л. Брагинская [2], хорошо согласуются с результатами непосредственных расчетов. Вместе с тем хорошо согласуются с ними и величины  $\beta$  и  $\gamma$ , полученные методом моментов. Этот очень простой и надежный способ аппроксимации заслуживает особого внимания. Использование же метода наименьших квадратов для определения параметров  $\beta$  и  $\gamma$ , по ее мнению, приводит к завышению расчетных значений средней скорости ветра и ветроэнергетических ресурсов. Среднее квадратическое отклонение, как правило, также оказывается завышенным.

Как показало наше исследование, критика метода наименьших квадратов связана с недоучетом некоторых нюансов климатологической обработки исходных данных. В справочниках по климату [4, 5] приведены повторяемости скоростей ветра по градациям. В значительном числе случаев ветер по ветроизмерительному прибору, особенно по флюгеру, в соответствии с методикой производства измерений отсчитывается наблюдателями с точностью лишь до 2 м/с. Это можно обнаружить при построении графика, на котором по абсциссе отложены скорости ветра, по ординате – их повторяемость. В том случае,

когда наблюдения не дают точности 1 м/с, линия повторяемости имеет зубчатый вид («пила»). Установлено, что с учетом точности наблюдений для характеристики повторяемости скоростей ветра следует брать интервалы не менее 2 м/с. В результате специальных исследований были установлены наиболее приемлемые границы интервалов: 0–1, 2–3, 4–5, 6–7, 8–9, 10–11, 12–13, 14–15, 16–17, 18–20 м/с, а далее ширина градации увеличивается. Для скоростей ветра более 20 м/с приняты интервалы через 4 и 6 м/с в соответствии с тем, что у флюгера с тяжелой доской точность наблюдений в диапазоне скоростей от 20 до 28 м/с составляет 4 м/с, а между 28 и 40 м/с – 6 м/с.

По методу моментов параметры распределения  $\beta$  и  $\gamma$  оцениваются с использованием середины градации, что соответствует точности расчета основных статистических характеристик. Метод наименьших квадратов использует интегральную вероятность (обеспеченность) превышения скорости ветра определенного значения. Переход от повторяемости к обеспеченности скоростей ветра производится путем суммирования повторяемостей от больших значений к меньшим. В связи с принципиальной важностью этого перехода поясним его на примере. Повторяемости скоростей ветра по градациям на метеостанции Анучино за год приведены в табл. 1.

Таблица 1

Повторяемость и обеспеченность различных скоростей ветра по метеостанции Анучино

Номер строки	Параметр	Значение										
		Скорость ветра, м/с	0–1	2–3	4–5	6–7	8–9	10–11	12–13	14–15	16–17	18–20
1	Номер градации		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	Повторяемость		0,184	0,249	0,245	0,159	0,088	0,032	0,023	0,01	0,008	0,002
3	Скорость ветра, м/с		$\geq 0$	$\geq 2$	$\geq 4$	$\geq 6$	$\geq 8$	$\geq 10$	$\geq 12$	$\geq 14$	$\geq 16$	$\geq 18$
4	Обеспеченность		1,0	0,816	0,567	0,322	0,163	0,075	0,043	0,02	0,01	0,002

Измерение скорости ветра на метеостанциях производится с точностью до целых значений. Поэтому вероятность последней градации (в данном примере 18–20 м/с), как правило, соответствует вероятности того, что скорость ветра будет более 18 м/с (строка 4, градация 10). Суммируя градации 10 и 9, получаем обеспеченность скорости ветра более 16 м/с и т.д. Нанося эти скорости ветра и их интегральные вероятности на специальные графики в биполярной системе координат, графическим

методом, методом моментов или наименьших квадратов можно рассчитать параметры  $\beta$  и  $\gamma$  распределения Вейбулла–Гудрича. Их оценки для дискретных значений скоростей ветра приведены в табл. 2. Из нее следует, что методом наименьших квадратов параметры  $\beta$  и  $\gamma$  распределения Вейбулла–Гудрича заметно завышены во все месяцы и за год в целом. Величина завышения, примерно того же уровня, что и у Л.Л. Брагинской [3], которую она объясняла нелинейностью преобразований.

Таблица 2

Параметры распределения Вейбулла–Гудрича, оцененные различными методами для дискретных значений скорости ветра

Месяц	Анучино				Заметчино				Пенза			
	$\beta$		$\gamma$		$\beta$		$\gamma$		$\beta$		$\gamma$	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
I	1,40	1,53	5,61	6,23	1,28	1,41	4,96	5,62	1,44	1,64	5,25	6,05
II	1,39	1,49	5,91	6,54	1,28	1,37	5,19	5,84	1,45	1,64	5,09	5,89



Месяц	Анучино				Заметчино				Пенза			
	β		γ		β		γ		β		γ	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
III	1,42	1,52	5,90	6,53	1,30	1,43	5,02	5,71	1,44	1,64	5,31	6,17
IV	1,42	1,58	4,86	5,45	1,34	1,52	4,42	5,07	1,44	1,63	4,88	5,68
V	1,42	1,58	4,87	5,51	1,34	1,50	4,53	5,25	1,42	1,54	4,70	5,53
VI	1,43	1,65	4,25	4,82	1,34	1,50	3,85	4,50	1,35	1,53	4,09	4,86
VII	1,36	1,57	3,77	4,35	1,23	1,40	3,24	3,85	1,38	1,55	3,79	4,50
VIII	1,38	1,54	4,00	4,62	1,17	1,30	3,18	3,79	1,40	1,58	3,83	4,52
IX	1,47	1,65	4,59	5,23	1,26	1,43	3,82	4,48	1,58	1,76	4,84	5,62
X	1,44	1,59	5,04	5,73	1,30	1,45	4,22	4,90	1,48	1,67	5,34	6,13
XI	1,42	1,57	5,31	6,03	1,36	1,52	4,68	5,38	1,44	1,65	4,94	5,79
XII	1,46	1,62	5,81	6,45	1,40	1,52	5,27	5,93	1,43	1,64	5,27	6,11
Год	1,38	1,52	4,97	5,65	1,27	1,40	4,37	5,04	1,40	1,59	4,78	5,58

Примечание. 1 – метод моментов, 2 – метод наименьших квадратов.

Однако в результате нашего исследования удалось обнаружить, что при допущении не дискретного, а непрерывного изменения значений скоростей ветра, параметры строки 4 табл. 1 следует заменить на  $\geq 0,0$ ,  $\geq 1,5$ ,  $\geq 3,5$ ,  $\geq 5,5$ ,  $\geq 7,5$ ,  $\geq 9,5$ ,  $\geq 11,5$ ,  $\geq 13,5$ ,  $\geq 15,5$ ,  $\geq 17,5$ . Это соответствует значениям середины промежутка между градациями. Построение кривых обесцененностей в билогарифмической системе координат по указанным значениям и оценка параметров распределения Вейбулла–Гудрича β и γ методом наименьших квадратов в этих условиях позволяют получить принципиально новый результат. Расхождения полученных пара-

метров, как методом наименьших квадратов, так и методом моментов, находятся на уровне сотых долей единицы и не превышают случайных счетных ошибок, например округления (табл. 3). Это позволяет сделать важный методический вывод: параметры распределения Вейбулла–Гудрича β и γ без ущерба для точности получаемых характеристик можно рассчитывать как методом моментов, так и методом наименьших квадратов. Для подтверждения данного вывода приведем оценку параметров β и γ, средних значений и средних квадратических отклонений скоростей ветра с использованием формул (3)–(4) и (9)–(10).

Таблица 3

Параметры распределения Вейбулла–Гудрича, оцененные различными методами для непрерывных скоростей ветра

Месяц	Анучино				Заметчино				Пенза			
	γ		β		γ		β		γ		β	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
I	1,40	1,39	4,98	5,00	1,28	1,26	4,98	5,00	1,42	1,44	5,35	5,38
II	1,39	1,33	5,19	5,17	1,28	1,26	5,19	5,17	1,44	1,47	5,19	5,21
III	1,42	1,36	5,02	5,01	1,30	1,28	5,02	5,01	1,38	1,40	5,49	5,50
IV	1,42	1,41	4,48	4,50	1,34	1,33	4,48	4,50	1,42	1,44	4,95	5,00
V	1,42	1,42	4,58	4,60	1,34	1,35	4,58	4,60	1,31	1,34	4,78	4,80
VI	1,43	1,48	3,85	3,86	1,34	1,35	3,85	3,86	1,34	1,36	4,09	4,11
VII	1,36	1,40	3,24	3,26	1,23	1,20	3,24	3,28	1,38	1,39	3,80	3,81
VIII	1,38	1,38	3,18	3,20	1,17	1,16	3,18	3,20	1,40	1,40	3,83	3,83
IX	1,47	1,48	3,83	3,85	1,28	1,28	3,83	3,85	1,58	1,58	4,94	4,95
X	1,44	1,43	4,22	4,26	1,30	1,26	4,22	4,26	1,48	1,50	5,33	5,36
XI	1,42	1,41	4,68	4,70	1,36	1,36	4,68	4,70	1,46	1,46	4,98	5,00
XII	1,46	1,45	5,27	5,26	1,40	1,36	5,27	5,26	1,46	1,45	5,37	5,37
Год	1,38	1,37	4,36	4,38	1,27	1,26	4,36	4,38	1,42	1,42	4,78	4,80

Примечание. 1 – метод моментов, 2 – метод наименьших квадратов.



Для ряда станций юго-востока ЕТР, находящихся в различных климатических зонах, результаты расчетов при использовании различных способов аппроксимации распределения скорости ветра законом Вейбулла–Гудрича представлены в табл. 4. Естественно, что значения  $\bar{v}$ , полученные прямым методом (метод 2, табл. 1), практически совпадают со значениями, взятыми из [4] (метод 1, табл. 4). Некоторое расхождение, находящееся, как правило, в

пределах 0,1 м/с, объясняется тем, что при расчете прямым методом использовались значения, рассчитанные не непосредственно из всей совокупности данных, как значения, приведенные в табл. 3 работы [4], а путем использования сгруппированных данных. Представляется, что значения  $\bar{v}$  и  $\sigma$ , полученные непосредственно по сгруппированным данным, являются близкими к действительности. Для сравнения приведена средняя многолетняя скорость ветра из [4].

Таблица 4

Средние скорости ветра, м/с, рассчитанные различными методами

Месяц	Анучино				Заметчино				Пенза			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
I	5,1	5,1	5,1	5,1	4,6	4,6	4,6	4,6	4,8	4,8	4,8	4,9
II	5,4	5,4	5,4	5,4	4,8	4,8	4,8	4,8	4,6	4,6	4,6	4,7
III	5,4	5,4	5,4	5,2	4,6	4,6	4,6	4,6	4,8	4,8	4,8	4,9
IV	4,4	4,4	4,4	4,4	4,1	4,1	4,1	4,1	4,4	4,4	4,4	4,5
V	4,4	4,4	4,4	4,4	4,2	4,2	4,2	4,2	4,3	4,3	4,3	4,4
VI	3,9	3,9	3,9	3,8	3,5	3,5	3,5	3,5	3,8	3,8	3,8	3,9
VII	3,5	3,5	3,5	3,4	3,0	3,0	3,0	3,1	3,5	3,5	3,5	3,5
VIII	3,6	3,6	3,6	3,6	3,0	3,0	3,0	3,0	3,5	3,5	3,5	3,6
IX	4,2	4,2	4,2	4,1	3,6	3,6	3,6	3,6	4,3	4,3	4,3	4,4
X	4,6	4,6	4,6	4,6	3,9	3,9	3,9	4,0	4,8	4,8	4,8	4,9
XI	4,8	4,8	4,8	4,9	4,3	4,3	4,3	4,3	4,5	4,5	4,5	4,6
XII	5,3	5,3	5,3	5,2	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,9
Год	4,5	4,5	4,5	4,5	4,0	4,0	4,0	4,1	4,3	4,3	4,3	4,4

Примечание. 1 – данные из «Справочника по климату СССР», 2 – данные, рассчитанные по повторяемости градаций, 3 – методом моментов, 4 – методом наименьших квадратов.

Расчеты показали, что при предложенном нами способе использования метода наименьших квадратов, значения средних скоростей ветра практически идентичны значениям, полученным как прямыми, так и косвенными (метод моментов) расчетами (см. табл. 4). Различия связаны лишь с точностью округления результатов, так как они имеют разные знаки в пределах 0,1 м/с. Такой же результат показали расчеты средних квадрати-

ческих отклонений и коэффициентов вариации.

В задачу данной работы не входит подробный анализ параметров распределения. Отметим лишь, что параметр  $\beta$  близок к значению средней скорости ветра, его годовой ход соответствует годовому ходу скорости ветра. Параметр  $\gamma$  меняется на рассматриваемой территории от 1,0 до 1,7, в большинстве пунктов он не имеет выраженного годового хода (табл. 5).

Таблица 5

Параметры распределения Вейбулла–Гудрича  $\gamma$  и  $\beta$  для некоторых метеостанций региона

Станция		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Казань	$\gamma$	1,47	1,48	1,46	1,49	1,66	1,58	1,56	1,48	1,59	1,70	1,57	1,52	1,51
	$\beta$	5,29	4,87	5,15	4,41	4,83	4,05	3,84	3,83	4,37	5,10	5,02	5,17	4,65
Саратов	$\beta$	1,11	1,14	1,16	1,14	1,23	1,22	1,29	1,16	1,23	1,19	1,13	1,17	1,16
	$\beta$	4,63	4,93	5,02	4,56	4,55	3,99	3,95	3,59	4,14	4,66	4,48	5,19	4,46
Эльтон	$\gamma$	1,48	1,50	1,54	1,39	1,45	1,51	1,48	1,42	1,31	1,38	1,51	1,52	1,45
	$\beta$	4,56	4,96	4,75	4,33	4,38	4,16	3,98	3,76	3,66	4,14	4,39	4,57	4,30
Оренбург	$\gamma$	1,17	1,17	1,14	1,17	1,20	1,32	1,27	1,13	1,12	1,16	1,17	1,18	1,14
	$\beta$	4,86	5,66	5,38	4,68	5,04	4,17	3,86	3,55	3,51	4,38	4,48	5,17	4,51
Астрахань, ГМО	$\gamma$	1,66	1,62	1,54	1,45	1,57	1,56	1,62	1,50	1,42	1,46	1,48	1,62	1,50
	$\beta$	5,10	5,24	5,57	5,51	5,21	4,81	4,17	4,00	4,13	4,42	4,94	5,14	4,84



Итак, в результате проведенного исследования установлена принципиальная возможность применения распределения Вейбулла–Гудрича к выравниванию скоростей ветра на уровне ветроизмерительного прибора. Это открывает новые возможности для обработки информации о ветровом режиме с применением средств вычислительной техники для решения широкого круга научных и практических задач. К ним можно отнести оценку ветрового напора на здания и сооружения, застойных состояний атмосферы, потенциальных и утилизируемых ветроэнергетических ресурсов и их распределения по территории. Для оценки параметров этого распределения рекомендуется использовать методы моментов и наименьших квадратов, минимизирующих объем вычислительных работ. Параметры распределения, оцененные с использованием этих параметров, позволяют надежно определять средние скорости ветра и характеристики изменчивости.

УДК 91(075.8)+929

## САРАТОВСКИЙ МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА КАК ФАКТОР ИНТЕГРАЦИИ НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ И БИЗНЕСА

В.З. Макаров, А.Н. Чумаченко<sup>1</sup>

Саратовский государственный университет,  
кафедра физической географии и ландшафтной экологии,  
<sup>1</sup>кафедра геоморфологии и геоэкологии  
E-mail: geogr@sgu.ru

В статье рассмотрены результаты деятельности научно-внедренческого образовательного центра геоинформационных технологий (ГИС-центр). Кратко освещены выполненные в ГИС-центре проекты по внедрению ГИС-методологии в научно-производственные и производственные организации Поволжья и намечены основные направления работы новой инновационной структуры СГУ – межрегионального центра космического мониторинга.

**Ключевые слова:** инновационная деятельность, геоинформатика, ГИС-технологии, комплексный территориальный анализ и региональное планирование, дистанционное зондирование, космические снимки.

### Saratov Interregional Centre of Space Monitoring as a Factor of Science, Education and Business Integration

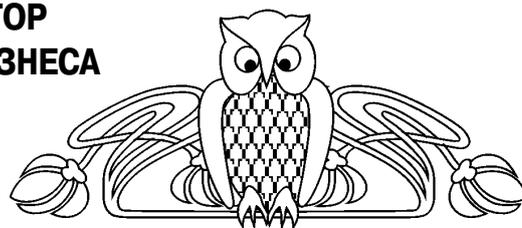
V.Z. Makarov, A.N. Chumachenko

The article represents results of scientific-innovation educational centre of geoinformational technologies (GIS-centre) activity. Also briefly reports projects realized by GIS-centre concerning of GIS methodology implementation to Povolzhie' scientific-production and production organizations and lay down general working trends of the Saratov State University new innovation organization – the interregional centre of space monitoring.

**Key words:** innovation activity, geoinformatic, GIS-technology, complex territorial analysis and regional planning, remote sensing, space images, spacephotomaps.

### Библиографический список

1. Анапольская Л.Е. Режим скоростей ветра на территории СССР. Л., 1961. 199 с.
2. Брагинская Л.Л., Каган Р.Л. К вопросу об аппроксимации распределения скоростей ветра // Тр. ГГО. 1982. Вып. 447. С. 49–57.
3. Кошинский С.Д. Из опыта расчета некоторых статистических характеристик ветра и параметров функции распределения вида  $f(x) = \exp\left[-\left(\frac{v}{\beta}\right)^{\gamma}\right]$  на электронно-вычислительных машинах // Тр. НР ГМЦ СССР. 1969. Вып. 2. С. 44–53.
4. Справочник по климату СССР: В 5 ч. Ч. 3, вып. 12–13. Л., 1967.
5. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Л., 1988. Сер. 3. Вып. 12–13.



### Введение

Альтернативы инновационному развитию страны на сегодняшний день нет. Этот широко используемый тезис не оспаривается. В то же время призывы к инновационному развитию так и останутся призывами, если среди призывов не заработают инновационные университетские центры. Нет в нашей стране других структур, в которых могли бы быть реализованы задачи не только генерирования новых идей, разработки прорывных технологий, но, одновременно, и задачи подготовки высококлассных специалистов, способных подхватить эти идеи, внедрить новые технологии в нашу жизнь. Как показывает опыт, отсутствие хотя бы одной из составляющих инновационного развития не просто тормозит процесс развития, а, по сути, останавливает его. Разумеется, указанные условия являются необходимыми, но далеко не достаточными для поступательного движения. В частности, нужно, чтобы университетские научно-образовательные центры выступали фокусом интеграции приоритетных научных направлений, современных образовательных парадигм и запросов бизнеса.

В Саратовском государственном университете создан и более 3 лет работает научно-



внедренческий образовательный центр геоинформационных технологий (ГИС-центр).

**Цель данной статьи** – сделать обзор выполненных в ГИС-центре работ и рассмотреть наиболее актуальные задачи, стоящие перед новой, недавно созданной структурой – межрегиональным центром космического мониторинга. Это новое направление в инновационной деятельности Саратовского национального исследовательского университета.

### Развитие геоинформационного направления

Геоинформационное направление на протяжении последнего десятилетия является стержневым в научно-исследовательской и образовательной деятельности географического факультета университета. Поэтому появление в его составе ГИС-центра неслучайно.

За последние два десятилетия в лабораториях урбоэкологии и регионального анализа, геоинформатики и тематического картографирования, которые и стали основой ГИС-центра, было выполнено большое количество разнообразных проектов. Заказчиками и полноценными партнерами многих работ являлись различные бизнес-структуры, государственные организации Саратовской области и других регионов страны. Среди них: ОАО «ВНИПИГАЗДОБЫЧА», ОАО «Саратовнефтегаз», ГУПП «Институт Саратовгражданпроект», Комитет по охране окружающей среды и природных ресурсов Саратовской области, ОАО «РосЖелДорПроект», НПО «Элита Поволжья», городской центр санэпиднадзора, Саратовская гидрогеологическая экспедиция, ПЧИ «Микроб», Саратовский филиал ОАО ГипродорНИИ, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Саратовский государственный медицинский университет, спецкомбинат «Радон» и многие другие.

Перечень научных, научно-производственных и производственных структур нашего региона, для которых задача использования геоинформационных технологий стоит на повестке дня, обширен. И он, несомненно, будет увеличиваться. В решении этой задачи уже сейчас велика роль университетского ГИС-центра, и она, очевидно, будет возрастать в силу нескольких важных причин, среди которых отметим следующие:

1. Научно-внедренческий образовательный центр геоинформационных технологий включает в себя весь спектр необходимых условий для реализации геоинформационных проектов в нашем регионе на самом высоком уровне. Высококвалифицированные специалисты центра являются разработчиками методологических и методических подходов в создании и использовании ГИС. В ГИС-центре разработаны:

– принципиальные основы методологии детального анализа и учета всего многообразия

специфики территориальных различий городских и сельских местностей, не имеющие мировых аналогов [1–3];

– концептуальные основы, методология, структура и содержание комплексной многоуровневой и многоцелевой ГИС для решения задач управления регионами, муниципальными образованиями и городами [4];

– методология комплексного геоинформационного территориального анализа геоэкологических, геодемографических и социально-экономических структур и процессов;

– алгоритмы решения различных регионально-планировочных, градостроительных и природоохранных задач на основе специализированных блоков ГИС [5, 6];

2. В ГИС-центре накоплен уникальный научно-практический опыт в области комплексного территориального анализа, созданы и внедрены в практику работы различных организаций многочисленные тематические электронные атласы и действующие отраслевые геоинформационные системы [6, 7]. При этом исследования центра и внедренные разработки охватывают Саратовскую область в целом, муниципальные районы области, отдельные территории региона, имеющие важное социально-экономическое, рекреационное, природоохранное значение, а также территории городов Саратовской области [8].

В ГИС-центре имеются все возможности для создания отраслевых и комплексных географических информационных систем, которые отвечали бы разнообразным потребностям государственных и муниципальных служб, позволяли на практике принимать обоснованные решения по управлению территорией.

3. Одной из серьезнейших проблем на сегодняшний день в сфере внедрения геоинформационных технологий является нехватка квалифицированных пользователей конечных ГИС-продуктов на местах и малочисленность специалистов-геоинформатиков, способных поддерживать и развивать ГИС. Научно-внедренческий образовательный центр геоинформационных технологий обеспечивает подготовку и переподготовку специалистов в области геоинформатики. Саратовский университет – один из немногих вузов страны, в котором ведется обучение студентов по специальности 351400 «Прикладная информатика в географии». Созданы все условия для подготовки высококлассных специалистов. С целью подготовки кадров высшей квалификации открыта аспирантура по специальности «Геоинформатика». Создана система переподготовки сотрудников различных административных и коммерческих структур для работы с блоками ГИС: открыт центр обучения и переподготовки кадров. Выпускники центра получают свидетельство о повышении квалификации государственного образца. Разработаны концепция создания на базе ГИС Саратовской области учебно-методических



материалов для высших и средних учебных заведений нашей области, структура и содержание мультимедийного географического атласа для школы.

4. Программное и техническое оснащение ГИС-центра находится на уровне лучших мировых стандартов, что является уникальным не только для нашего региона, но и для страны в целом. Для геодезических работ, составляющих основу геоинформационных проектов, закуплены высокоточные нивелиры, электронные теодолиты и тахеометры, светодальномеры, GPS, программное обеспечение для обработки геодезических данных. Приобретен мобильный геодезический комплекс, оснащенный самым современным высокоточным оборудованием спутниковой навигации. Создан кабинет фотограмметрии, оснащенный мощнейшими графическими станциями и специализированными стереомониторами, предназначенными для стереофотограмметрической обработки аэро- и космических данных. В рамках инновационного проекта закуплены оборудование для кабинета математико-картографического моделирования, специализированные системы ввода и вывода картографической продукции, приборы для обработки данных полевых исследований и многое другое.

Центр оснащен полным набором разнообразных лицензионных программных продуктов, необходимых для решения задач ввода и вывода графической информации, создания атрибутивных баз данных, фотограмметрической обработки данных дистанционного зондирования и их автоматизированного дешифрирования, построения различных математико-картографических моделей состояния окружающей территории и др.

#### Создание центра по обработке данных космической съемки

В настоящее время НВОЦ «ГИС-центр» свои усилия сосредоточил на выполнении про-

екта «Разработка и внедрение методологии комплексного территориального анализа на основе ГИС-технологий и данных дистанционного зондирования в работу различных ведомств и организаций Саратовской области и Нижнего Поволжья». Основная задача проекта состоит во внедрении в разные сферы народного хозяйства и процесс образования современных теоретико-методических и практических достижений геоинформатики, геоэкологии и регионального планирования.

Проект выполняется в соответствии с двумя приоритетными направлениями развития науки, технологий и техники в Российской Федерации:

- а) информационно-телекоммуникационные системы;
- б) рациональное природопользование.

В рамках этого проекта решается задача создания межрегионального центра космического мониторинга, предназначенного для приема, хранения и обработки данных дистанционного зондирования Земли. Получаемая со спутников информация будет накапливаться, сравниваться и постоянно обновляться. Она послужит базовой информационной основой для разработки и внедрения многоцелевых и специализированных геоинформационных систем, станет основой мониторинга территориальных структур региона.

Центр космического мониторинга способен обеспечить прием и обработку информации X-диапазона, передаваемой с низкоорбитальных природно-ресурсных искусственных спутников Земли в диапазоне 8 ГГц со скоростью до 170 Мбит/с в одном канале. Прием осуществляется с искусственных спутников Земли (ИСЗ) Terra, Aqua, EROS A, EROS B. Некоторые параметры спутниковых систем и характеристики получаемых данных приведены в табл. 1, 2).

Таблица 1

Некоторые характеристики спутниковых систем

Спутник	Тип орбиты	Высота орбиты, км	Наклонение, град.	Период обращения, мин
EROS A/EROS B	Солнечно-синхронная, круговая	510 +/- 40	97,3	94
Terra/Aqua	Солнечно-синхронная, круговая	705	98,2	98,8

Таблица 2

Характеристика изображений, получаемых со спутников EROS

Спутник	Прибор / режим съемки	Спектральный диапазон	Пространственное разрешение, м	Полоса обзора, км	Повторяемость съемки одной территории (для одного спутника)
EROS A	PAN	0,5–0,9 (Зеленый – БИК)	1,9	14	1 раз в 3–4 сут
EROS B	PAN	0,5–0,9 (Зеленый – БИК)	0,7	7	1 раз в 3–4 сут



Системы управления земной станцией приема спутниковой информации и предварительной обработки данных обеспечивают:

- автоматическую проверку функционирования аппаратной части;
- расчет прохождения ИСЗ через зону видимости и автоматическую активизацию работы земной станции, расчет траектории ИСЗ и управление антенной системой для сопровождения ИСЗ;
- проведение систематической геометрической коррекции растровых данных;
- улучшение изображений, радиометрическую коррекцию (управление контрастом и яркостью изображений, линейное и нелинейное контрастирование и т.п.);
- географическую привязку спутниковой информации;
- тематическую обработку многозональных снимков, нейросетевую классификацию и GTM, объектно-ориентированную классификацию, расчет радиационного баланса, гидрологического моделирования, интерактивное создание тонально-сбалансированных мозаик изображения земной поверхности на снимке, увеличение пространственного разрешения, проведение анализа изменения территории во времени, 3D моделирование и визуализацию и пр.;
- формирование выходных продуктов стандартных уровней обработки в распространенных обменных форматах, проведение предпечатной подготовки и пр.

Нет необходимости отмечать инновационный характер методов космического мониторинга земной поверхности. Задача состоит в быстрейшем и наиболее эффективном их использовании, объединении с ГИС-технологиями.

#### **Обработка и использование данных дистанционного зондирования и анализ архива космоснимков**

Создание межрегионального космического центра мониторинга позволит выдвинуть Саратовский университет в число ведущих отечественных центров дистанционного изучения Земли. Появляется возможность решения практических задач, связанных с мониторингом окружающей среды, исследованием динамики природных процессов и явлений, поддержки принятия решений в реальном времени, оперативного реагирования на проявления рискованных ситуаций, анализом причин и прогнозирования последствий чрезвычайных ситуаций и пр.

На наш взгляд, наиболее перспективно использование данных дистанционного зондирования Земли в следующих отраслях народного хозяйства Саратовской области и сферах управления:

- сельском хозяйстве – мониторинг состояния земель, деградации почв, состояния сельскохозяйственных культур, соотношения различных типов

землепользования, состояния пастбищ, прогноз урожаев, наличия и толщины снегового покрова, загрязненности снегового покрова.

- лесном хозяйстве – анализ лесопокрытой площади, гарей, вырубок, деградации древостоев, породного состава, пораженности насекомыми, оценка пожароопасности и мониторинг лесных пожаров.

- водном хозяйстве и управлении МЧС по Саратовской области – оценка паводкоопасности, состояния водотоков и водоемов, эвтрофикации водоемов, инвентаризация прудов и водохранилищ, анализ состояния плотин, абразии берегов, обмеления и заиливания водотоков и водоемов, состояния водоохраных зон.

- городском планировании – изучение плотности и характера застройки, направления роста населенных пунктов, состояния пригородных зон, границ землепользования, локализации свалок, зон загрязнения, утечек из канализационных систем и водопроводной сети и пр.

- комитете природопользования и охраны окружающей среды – может использовать информацию по оценке распространенности и интенсивности водной эрозии, загрязнению водоемов и водотоков, загрязнению и эрозии почв и грунтов, состоянию месторождений минерального сырья, загрязнению снегового покрова, прозрачности атмосферы, состоянию особо охраняемых природных территорий.

Это далеко не полный перечень возможных направлений использования данных спутникового зондирования. Подчеркнем, что кроме наземной станции приема космической информации центр космического мониторинга располагает геоинформационным программно-аппаратным комплексом (геопорталом), предназначенным для интерактивной работы с графически привязанной информацией через сеть Интернет/Инtranет. Данный геопортал наполнен обширным архивом космических изображений разного территориального охвата. Отметим некоторые из них:

- космические изображения сверхвысокого разрешения программ IKONOS и QuickBird. Пространственное разрешение изображений не более 1 м (панхроматические) и пространственное разрешение не более 4 м (мультиспектральные). Данные снимки получены на территории городов Саратов, Энгельс, Вольск, Балаково;

- космические изображения высокого разрешения (2,0–2,5 м) на отдельные участки Саратовской области, прежде всего пригородные зоны, долина Волги и пр.;

- космические снимки программы IRS с пространственным разрешением не более 5,8 м (панхроматические) и пространственным разрешением не более 23,5 м (мультиспектральные) на всю территорию Саратовской области;

- космические снимки программы Landsat 7 с пространственным разрешением не более 15 м



(панхроматические) и пространственным разрешением не более 30 м (мультиспектральные) на территорию Российской Федерации.

Необходимо отметить, что все архивные снимки прошли процедуру предварительной обработки с целью создания геопривязанных цветосинтезированных тонально-сбалансированных мозаичных покрытий.

Геопортал не просто содержит определенные материалы, но и дает возможность работать с ними, выполняя следующие операции:

– работу с растровыми (Tiff/GeoTiff, Erdas Imagine, BMP, Jpeg/Jpeg2000, MrSid, ECW и др.) и векторными (ESRI Shapefile, MapInfo File, GPX, KML и др.) форматами данных;

– интерактивный просмотр комбинации векторных и растровых слоев; масштабирование растровых и векторных слоев;

– предоставление основных и дополнительных географических инструментов (измерение расстояния и площади, определение координат точки);

– загрузка пользователем собственных векторных и растровых файлов для просмотра поверх мозаики спутниковых изображений; сохранение нарисованных объектов (точек, линий, полигонов) в виде shp/tab файлов.

Кроме того, предоставляются:

– поисковые инструменты (поиск по координатам объектов, топонимический поиск), получение информации через Интернет;

– возможность обновления и расширения состава информационного обеспечения ПАК;

– экспорт-импорт данных из программного обеспечения базовой программы ArcGis;

– импорт в качестве входной информации векторных и растровых данных основных пространственных форматов, ее обработка и сохранение в форматах, используемых интерактивной системой предоставления сервисов;

– импорт оперативных метаданных и данных космической съемки в форматах стандартных продуктов, подготавливаемых средствами наземной приемной станции;

– обеспечение подготовки и записи выходных продуктов в виде геопривязанных или геокодированных изображений в формате GeoTIFF; обеспечение подготовки и передачи метаданных и снимков для отображения.

Важно отметить, что обработка данных дистанционного зондирования выполняется в оболочке геоинформационной системы Саратовской области, включающей цифровые карты региона и отдельных, наиболее важных территорий и объектов (городов, промышленных площадок, полигонов и пр.) с соответствующими атрибутивными базами данных.

Особо подчеркнем важную роль спутниковой информации в интеграции с географическими информационными системами (ГИС), где результаты дистанционного зондирования поверхности

Земли из космоса являются регулярно обновляемым источником данных, необходимых для формирования природно-ресурсных карт и атласов, кадастров и других приложений.

## Заключение

1. На географическом факультете Саратовского госуниверситета в структуре инновационных ГИС-центра и Центра космического мониторинга разработана методология комплексного территориального анализа на разных масштабных уровнях – муниципальных образований и региональном. Данная методология успешно апробирована и внедрена в работу многих муниципальных и государственных организаций, акционерных и частных компаний.

2. Создаваемый центр по приему, обработке и анализу спутниковой информации, будет интегрирован с ГИС-центром. Это позволит создать многоцелевую полнофункциональную ГИС-Саратовской области.

Оперативный прием и обработка данных дистанционного зондирования, выполняемые в оболочке геоинформационной системы Саратовской области, позволяют решать многие текущие и стратегические задачи, которые стоят перед народным хозяйством области: деградация и загрязнение земель, маловодье, нерациональное землепользование, угроза лесных пожаров и др.

3. Инновационные научно-исследовательские центры географического факультета СГУ располагают необходимыми материальными, кадровыми и интеллектуальными ресурсами, опытом работы по созданию интегрированных ГИС, включающих совместную обработку цифровых карт и цифровых космических снимков. Сотрудники центров готовы оказать содействие в становлении и развитии ГИС-технологий и методов использования ДЗЗ в различных органах управления народным хозяйством Саратовской области, а также в службах оперативного контроля за природными ресурсами и экологической ситуацией в целях принятия оптимальных и своевременных управленческих решений.

## Библиографический список

1. Макаров В.З. Ландшафтно-экологический анализ крупного промышленного города. Саратов: Изд-во Саратовского университета, 2001. 178 с.

2. Макаров В.З., Новаковский Б.А., Чумаченко А.Н. Эколого-географическое картографирование городов. М.: Научный мир, 2003. 198 с.

3. Макаров В.З., Чумаченко А.Н. Методология и методика градозащитных исследований с использованием ГИС-технологий // Тр. XII съезда Русского географического общества. Т. 6. Картография. Геоинформатика. Дистанционные методы исследований. 2009. С. 135–143.



4. Макаров В.З., Чумаченко А.Н., Демин А.М. и др. Опыт разработки геоинформационной системы для схемы территориального планирования муниципального района // Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт: Материалы междунар. конф., Саратов (Россия) – Урумчи (Китай) – 2008. Саратов, 2008. Т. 1. С. 228–240.
5. Макаров В.З., Молочко А.В., Фролов В.А., Чумаченко А.Н. Моделирование факторов пожароопасной ситуации на нефтесборных пунктах с использованием геоинформационных технологий // Изв. Саратов. ун-та. Новая сер. 2009. Т. 9. Сер. Науки о Земле, вып. 1. С. 32–39.
6. Макаров В.З., Чумаченко А.Н., Федоров А.В., Данилов В.А. Опыт использования геоинформационных технологий в ОАО «Саратовнефтегаз» // Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт: Материалы междунар. конф. Саратов (Россия) – Урумчи (Китай) – 2008. Саратов, 2008. Т. 1. С. 240–246.
7. Макаров В.З., Чумаченко А.Н., Савинов В.А., Данилов В.А. Национальный парк «Хвалынский»: ландшафтная характеристика и географическая информационная система. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2006. 140 с.
8. Макаров В.З., Чумаченко А.Н., Федоров А.В. Научно-организационная и учебно-методическая работа лабораторий урбоэкологии и геоинформатики и тематического картографирования географического факультета Саратовского госуниверситета // Развитие физической географии и ландшафтной экологии в Саратовском университете. К семидесятилетию основания кафедры физической географии и ландшафтной экологии / Под ред. В.З. Макарова. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2005. С. 25–38.



## ГЕОЛОГИЯ

УДК 523.31–3; 550.384

### ЭВОЛЮЦИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 24 МЛН ЛЕТ

Л.В. Гребенюк

Саратовский государственный университет,  
кафедра охраны окружающей среды и безопасности жизнедеятельности  
E-mail: Grebenuk2@yandex.ru

Рассмотрена история развития магнитного поля Земли за последние 24 млн лет на основе региональной магнитостратиграфической схемы неогена юга европейской части России и Закавказья. Схема создана по результатам работ автора по палеомагнитному исследованию опорных разрезов Кавказского региона и скважин Северного Прикаспия и Нижнего Поволжья. Выявленные инверсии геомагнитного поля привязаны к стратиграфической шкале Восточного Паратетиса. Проанализированы особенности изменений магнитной полярности в неогене. Полученные результаты о режимах генерации магнитного поля могут являться научно-справочным материалом для специалистов разного профиля, занимающихся проведением палеорекострукций жизни планеты.

**Ключевые слова:** магнитное поле Земли, развитие органической жизни, вымирание видов, инверсия, магнитостратиграфическая схема неогена, Северный Прикаспий, Кавказ.

#### Earth's Magnetic Field Evolution During Last 24 mln Years

L.V. Grebenyuk

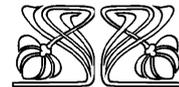
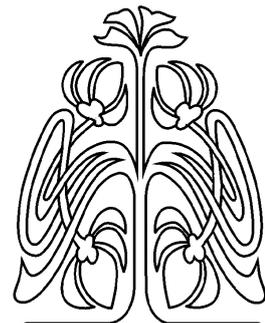
The history of Earth's magnetic field during the last 24 mln years is considered in terms of our regional magnetostratigraphic Neogene scheme of the southern European Russia and Transcaucasian region. The scheme results from the author's paleomagnetic studies of base sections in the Caucasian region and bore holes in the northern Cis-Caspian and Lower Volga regions. The revealed inversions of the geomagnetic field are referenced to the stratigraphic scale of the Eastern Para-Tethys. Peculiarities of the magnetic polarity changes in Neogene are analyzed. The obtained results about the generation modes of the magnetic field can serve reference information for various specialists engaged in life paleoreconstruction.

**Key words:** Earth's magnetic field, development of organic life, extinction of kinds, magnetostratigraphic Neogene scheme, Caucasian region, Cis-Caspian region.

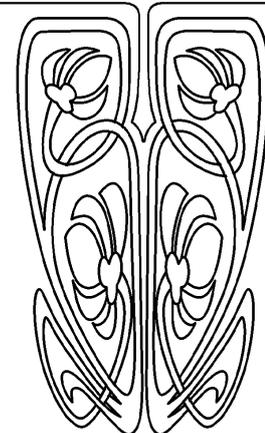
Изучение внутреннего строения Земли и процессов, протекающих в глубинах планеты, представляет собой одну из основных задач современного естествознания. Все геосферы, являющиеся средой обитания живых организмов, выделились из недр основного тела Земли в процессе длительного развития планеты. Дальнейшая эволюция биосферы также во многом будет определяться жизнью земных недр, ее важнейших абиотических экологических факторов [1].

К таким факторам относится геомагнитное поле, изучение которого с целью реконструкции эволюции Земли составляет одно из основных направлений современной геофизики и геоэкологии. Магнитное поле Земли изменяется во времени и в пространстве, о чем можно судить на основании исследований магнитных свойств горных пород.

Древние породы имеют способность намагничиваться в период своего формирования. При образовании осадочных пород в процессе осаждения магнитных частиц на них оказывает ориентирующее действие геомагнитное поле; частицы стремятся расположиться таким образом, чтобы их векторы намагниченности оказались направленными «по полю». При обезвоживании осадка полученная ориентация частиц закрепляется, и осадок приобретает ориентационную остаточную на-



НАУЧНЫЙ  
ОТДЕЛ





магнитность, сохраняющуюся в последующие эпохи [2].

На протяжении истории Земли геомагнитное поле неоднократно меняло свою полярность. Обращения полярности привели к тому, что разрезы осадочных и вулканогенных толщ оказались расчлененными на чередующиеся зоны прямой ( $N$ ) и обратной ( $R$ ) намагнитченности. Существовали периоды, когда инверсии происходили по несколько раз за миллион лет, но случались и периоды длительного затишья, когда десятки миллионов лет магнитное поле сохраняло свою полярность.

Еще в 60-х годах была предложена гипотеза о сильном влиянии обращений магнитного поля Земли на развитие органической жизни, и прежде всего на катастрофические периоды вымирания глобального характера [3]. Эволюцию биоты связывали с разрушением магнитного экрана, резким усилением ионизирующего излучения в моменты инверсии и прямым мутагенным влиянием ослабленного магнитного поля при переполюсовках [4–7].

Особую актуальность данные исследования приобрели в последние годы, когда в печати появились научные публикации о предстоящей инверсии геомагнитного поля. Приводятся факты, указывающие на приближающуюся смену полярности магнитного поля Земли:

- 1) уменьшение на протяжении последних 2,5 тыс. лет напряженности геомагнитного поля;
- 2) ускорение падения напряженности поля в последние десятилетия;
- 3) резкое ускорение смещения магнитного полюса;
- 4) особенности распределения магнитных силовых линий, характерные стадии подготовки инверсии.

Не исключено, что инверсия может произойти при жизни ближайших поколений и окажется катастрофой для человеческой цивилизации. В частности, несколько лет назад канадский научно-популярный журнал «Discovery magazine» составил список из двадцати наибольших опасностей, где инверсия значится под шестым номером [8].

Полученные к настоящему времени результаты недостаточны для подтверждения либо опровержения распространенного мнения об универсальном экологическом влиянии магнитных инверсий и их чрезвычайной роли в исчезновении и появлении ведущих фаунистических групп. Работы по данной теме продолжаются, ведутся сбор и систематизация материалов.

Исследования выполняются совместно палеомагнитологами и палеонтологами по трем основным направлениям. Наиболее распространены сопоставления конкретных инверсий со стратиграфическими уровнями, отмеченными исчезновением отдельных видов. Второе направление предусматривает детальный анализ особенностей вымирания крупных таксонов (от рода и выше) в течение длительных (до 5–10 млн лет)

эпох частых инверсий. Наконец, в некоторых работах проводятся общие сопоставления крупных этапов геомагнитной и биологической эволюции по фанерозою в целом [9].

Для осуществления подобных исследований, несомненно, необходима качественная и детальная палеомагнитная основа – шкала магнитной полярности. Базой общей шкалы магнитной полярности кайнозой являются главным образом данные морских магнитных съемок. Однако конкретные вопросы стратиграфии, палеогеографии, тектоники и т.д. не могут решаться на основе океанской аномалийной шкалы. В связи с этим должна быть создана магнитостратиграфическая шкала континентов, построенная путем сопоставления региональных магнитостратиграфических схем.

Начиная с работ А.Н. Храмова (1958), прочное признание получил классический стратиграфический принцип разработки палеомагнитной шкалы. Процедура ее построения предусматривает изучение стратотипических и опорных разрезов, тщательную привязку магнитозон к биостратиграфическим (фаунистическим) подразделениям и последовательный «монтаж» сводных палеомагнитных разрезов и местных специализированных схем. Путем синтеза имеющихся материалов в конечном итоге создается общая магнитостратиграфическая шкала [2].

Известно, что неогеновый и четвертичный периоды Земли составляют последние 24 млн лет. Первая региональная схема магнитной зональности для данного временного интервала была создана в 70-х годах XX века на основе морских разрезов Средиземноморья [10]. Несколько позднее подобная схема была построена для Северного Кавказа, где сосредоточены многочисленные опорные разрезы данного возраста [11, 12]. Длительное время северокавказская схема оставалась основной разработкой в отечественной магнитостратиграфии неогена.

За два последних десятилетия значительно возросли требования к точности измерений и методике лабораторных исследований, и как следствие вполне закономерно встал вопрос о детализации и ревизии первого макета магнитостратиграфической схемы неогена Кавказа. В настоящей работе отражены результаты автора по уточнению и детализации региональной магнитостратиграфической схемы морского неогена Кавказской области с широким привлечением палеомагнитных материалов по Прикаспию.

В качестве объектов исследования выбирались разрезы, где в непрерывной последовательности представлены значительные стратиграфические интервалы с четкими границами между ярусами и надежно обоснованные палеонтологически. При интерпретации учитывались объемы возможных размывов и перерывов в осадконакоплении. Изучена коллекция из 1077 ориентированных «верх–низ» шtuфов 13 скважин Северного Прикаспия и



Нижнего Поволжья. Кроме того, на современной аппаратуре проведено повторное палео- и петромагнитное исследование ряда коллекций из опорных разрезов Северного Кавказа и Закавказья (1657 ориентированных штуфов). Мощность изученных разрезов варьирует от 50–100 до 800–900 м. Схемы расположения разрезов приведены на рис. 1, 2.

казья (1657 ориентированных штуфов). Мощность изученных разрезов варьирует от 50–100 до 800–900 м. Схемы расположения разрезов приведены на рис. 1, 2.

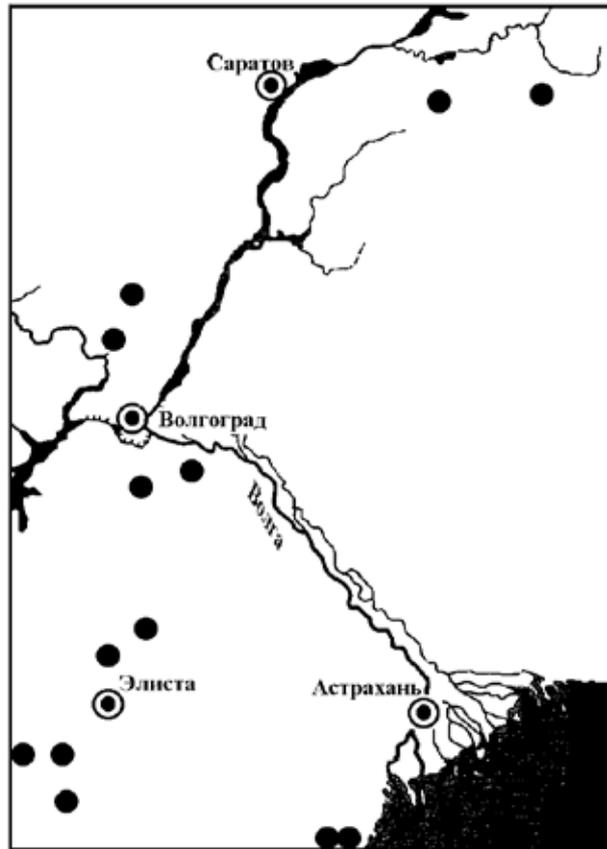


Рис. 1. Схема расположения изученных скважин неогеновых отложений Северного Прикаспия и Нижнего Поволжья

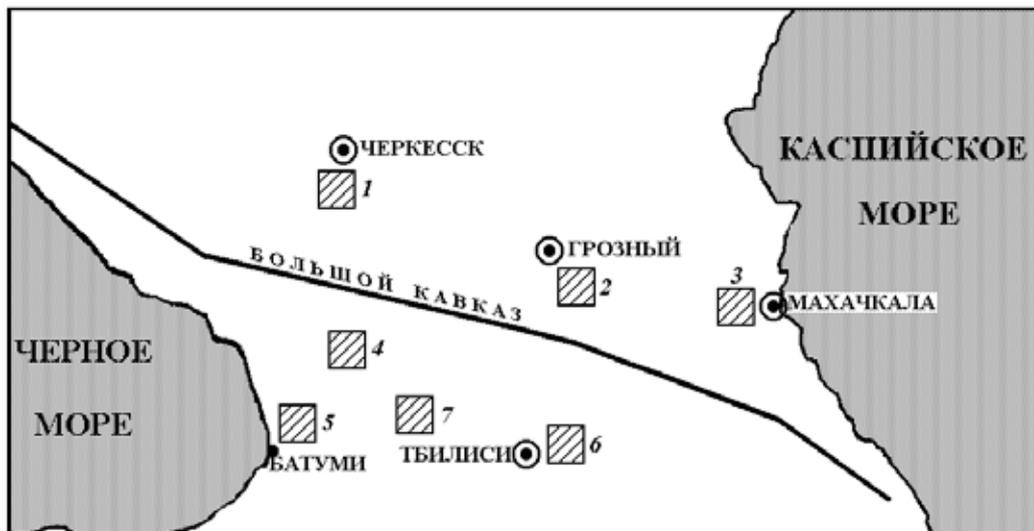


Рис. 2. Схема расположения разрезов неогеновых отложений Кавказского региона: 1 – р. Большой Зеленчук, р. Малый Зеленчук, р. Кубань; 2 – р. Чанты-Аргун, с. Эрсеной, р. Аксай; 3 – р. Сулак; 4 – р. Инцра, с. Джалги; 5 – с. Хварбети, г. Махарадзе, с. Хварбети II, с. Гогорети-Мерия; 6 – с. Норйо, р. Архашен-Су; 7 – с. Черат-Хеви



Лабораторные исследования велись по общепринятой методике [13–15]. Проводились измерения магнитной восприимчивости ( $k$ ) и естественной остаточной намагниченности ( $J_n$ ), магнитные чистки температурой, снятие кривых нормального намагничивания ( $H_s$ ) и разрушающих полей насыщения ( $H'_{cs}$ ). Привлекался термомагнитный и дифференциальный термомагнитный анализы (ТМА и ДТМА). Магнитная фракция части образцов изучалась под биноклем. Измерения естественной остаточной намагниченности пород производились на спин-магнитометре JR-4, а магнитной восприимчивости – на каппаметрах ИМВ-2 и КТ-5.

Проведен ряд независимых тестов (тест состава, инверсий, анализ кучностей и критерий внешней схожести), положительные результаты которых интерпретируются как достоверный показатель первичной природы характеристической компоненты естественной остаточной намагниченности.

Изученные коллекции представлены терригенными и терригенно-карбонатными породами: глинами, алевролитами, тонкозернистыми песчаниками и мергелем. Основные носители намагниченности пород – аллотигенный магнетит и аутигенные сульфиды железа. Зерна магнетита имеют угловатые очертания, несут явные следы водной транспортировки в виде царапин и штрихов на плоскостях и гранях, нередко сростки магнетита с силикатами. На кривых ДТМА магнетит диагностируется по отрицательным пикам в области точки Кюри ( $570\text{--}580^\circ\text{C}$ ). Аутигенная природа сульфидных магнитных минералов подтверждается округлыми, почковидными, пластинчатыми и трубчатыми зернами алевро-песчаной размерности. Магнитные сульфиды определяются на кривых ДТМА по ряду термомагнитных эффектов при температуре  $320\text{--}340^\circ\text{C}$  [13].

Отложения по магнитным свойствам весьма неоднородны: магнитная восприимчивость изменяется от  $5\text{--}10 \cdot 10^{-5}$  до  $1300\text{--}1600 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ, значения естественной остаточной намагниченности при этом варьируют от  $0,1\text{--}0,5 \cdot 10^{-3}$  до  $260\text{--}430 \cdot 10^{-3}$  А/м.

Неоген в опорных разрезах Кавказского региона представлен практически в полном объеме, однако степень изученности разных интервалов шкалы неодинакова. Наиболее детально охарактеризована ее плиоценовая часть, достаточно полный материал собран по верхнему и среднему миоцену. Наименее изученным остается нижний миоцен, представленный глинами верхней части майкопской серии. В разрезах Прикаспийского региона также наиболее изученными оказались отложения среднего и верхнего миоцена и верхний плиоцен.

Практически для каждого изученного подразделения получены палеонтологические определения по фауне моллюсков, остракод и фораминифер. Для ряда разрезов определены

спорово-пыльцевые комплексы. Детальные литолого-палеонтологическая и палеомагнитная характеристики изученных разрезов приведены в публикациях [16, 17].

На основе палеомагнитного изучения опорных разрезов была уточнена и детализирована магнитостратиграфическая схема Кавказа [12] и впервые построена схема магнитной зональности Северного Прикаспия (рис. 3). Выявленные магнитозоны местных схем хорошо охарактеризованы палеонтологически и сопоставлены с неогеновыми ярусами Восточного Паратетиса.

В сводной палеомагнитной колонке кавказской схемы зафиксировано 96 интервалов прямой и обратной полярности. Отмечается широкий временной спектр выделенных магнитозон: от микро- (длительностью менее 0,5 млн лет) до ортозон ( $0,5\text{--}1$  млн лет). Каркас сводного разреза составляют 16 сложнопостроенных ортозон, проиндексированных согласно рекомендациям Стратиграфического кодекса [18]. Три крупные магнитозоны плиоцена идентифицированы с ортозонами Гильберт, Гаусс и Матуяма магнитохронологической шкалы А. Кокса [19].

В сводной палеомагнитной колонке Северного Прикаспия и Нижнего Поволжья задокументировано по 29 магнитозон прямой и обратной полярности различного ранга (от микро- до ортозон), сгруппированных по преобладающей полярности в 9 ортозон.

По этим двум местным магнитостратиграфическим схемам составлена региональная палеомагнитная схема неогена юга европейской части России и Закавказья. В целом схема характеризуется сложной магнитополярной структурой, обусловленной частыми переполосовками магнитного поля на протяжении всего неогена. Только достоверно установленных инверсий в неогене около сотни, а их общее число значительно превышает эту цифру.

В целом региональная магнитостратиграфическая схема неогена включает по 46 зон прямой и обратной намагниченности, занимающих различный стратиграфический объем. По преобладающей полярности они объединены в более крупные магнитозоны, имеющие в соответствии с таксономической шкалой общих магнитополярных подразделений ранг ортозон [18].

Всего в палеомагнитной колонке выделено 16 ортозон, 13 из которых относятся к миоценовой части шкалы, и 3 (Гильберт, Гаусс, Матуяма) – к плиоцену. Временные объемы ортозон варьируют от 0,5 до 4,5 млн лет, и они формируют каркас магнитополярной шкалы, адаптированной к стратиграфическим построениям на региональном и трансрегиональном уровнях. По рангу ортозоны близки к хронам магнитохронологической шкалы, но в отличие от них четко привязаны к региональным и общим стратиграфическим подразделениям, что отражено в их индексации.





Ниже приводится краткая характеристика ортозон в их стратиграфической последовательности (см. рис. 3).

Магнитостратиграфическая схема неогена юга европейской части России и Закавказья начинается снизу крупной ортозоной обратной полярности  $R_1N_1k-s$ , которая охватывает кавказский и нижнюю половину сакараульского региоярусов. Она осложнена 5  $n$ -микростроями прямой полярности, 4 из которых зарегистрированы в кавказии, а самая верхняя относится к сакараулу. Граница кавказского и сакараульского региоярусов осталась неохарактеризованной из-за отсутствия отложений данного возраста в изученных разрезах.

Выше следует зона  $N_1N_1s$ , эквивалентная верхней половине сакараульского яруса. Ее сменяет в разрезе крупная магнитозона преимущественно обратной полярности  $R_2N_1kz-t$  в объеме коцахурского и тарханского региоярусов. В ее пределах зафиксировано 6 микростроев прямого знака, 4 из них – в коцахурской части шкалы, 1 – на границе коцахура и тархана и верхняя – в верхней части тарханского региояруса.

В чокракском региоярусе зафиксировано 3 ортозоны: нижняя – прямой полярности  $N_2N_1ch$ , средняя – обратной полярности  $R_3N_1ch$  и верхняя – преимущественно прямой  $N_3N_1ch-kr$  с 2 узкими микростроями обратной полярности. Верхняя половина ортозоны  $N_3N_1ch$  соответствует прямомагнитному нижекараганскому подъярусу.

Верхняя половина караганского, конский и низы сарматского ярусом с их преобладающей обратной полярностью эквивалентны ортозоне  $R_4N_1kr-sr_1$ , осложненной 5  $n$ -микростроями. 2 из них фиксируются в караганском, 2 – в конкском региоярусе и 1 приурочена к середине нижнесарматского подъяруса.

Вышележащая ортозона прямой полярности  $N_4N_1sr_2$ , соответствующая среднесарматскому подъярусу, практически монополярна и лишь в средней своей части расщеплена узкой  $r$ -микростроем.

3 крупные ортозоны  $R_5N_1sr_3$ ,  $N_5N_1sr_3$  и  $NR_1N_1sr_3-m$  соответствуют верхнесарматскому подъярусу. Ортозона обратной полярности  $R_5N_1sr_3$  начинается в самых верхах среднего и продолжается в верхнем сармате. В своей нижней части она осложнена 1  $n$ -микростроем. Выше следует зона  $N_5N_1sr_3$  с 2 микростроями обратной полярности. Завершает строение палеомагнитной колонки сарматского яруса ортозона переменной полярности  $NR_1N_1sr_3-m$ , состоящая из 4 микро- и субзон прямой и 4 – обратной намагниченности. Верхняя часть данной ортозоны документируется и в низах мэотического региояруса.

Палеомагнитный интервал, соответствующий мэотическому ярусу, формируют 2 ортозоны: нижняя – обратной  $R_6N_1m$  и верхняя – прямой  $N_6N_1m$  полярности. Зона  $R_6N_1m$  – монополярна, зона  $N_6N_1m$  осложнена в средней части 2 сближенными  $r$ -микростроями.

Выше в магнитостратиграфической схеме следует зона Гильберт, эквивалентная понтическому региоярусу и большей части киммерийского яруса. На фоне преобладающей обратной полярности в ней установлены 4 микрострои, которые, вероятно, являются аналогами эпизодов Твера, Сидуфиал, Нунивак и Кочити.

Крупная магнитозона прямой полярности, соответствующая ортозоне Гаусс, охватывает верхи киммерийского яруса, нижеакчагыльский подъярус в полном объеме и низы среднеакчагыльского подъяруса. У границы нижнего и среднего акчагыла зафиксировано 2 микрострои обратной полярности, сопоставимые с микростроями Маммот и Каена.

Завершает палеомагнитную колонку неогена магнитозона обратной полярности, выделенная в среднем-верхнем акчагыле и имеющая продолжение в эоплейстоцене. Эта магнитозона идентифицируется как ортозона Матуяма. В ее пределах документируется 3  $n$ -микрострои. Две из них сближены и соответствуют микрострою Реюньон, а верхняя является аналогом микрострою Олдувей, маркирующей границу плиоцена и плейстоцена.

Выделенные ортозоны создают определенный структурный рисунок магнитостратиграфической схемы неогена, который во многом облегчает работу по изучению главных этапов и рубежей в эволюции магнитного поля Земли, понимание специфики его развития. Анализ шкалы магнитной полярности позволяет получить представление о динамике геомагнитного поля в неогене. Документируются более длительные эпохи преимущественно обратной полярности, разделенные практически монополярными интервалами прямой полярности, зафиксированными в верхнем сакарауле, среднем и верхнем сармате, верхнем мэотисе и нижнем акчагыле.

Палеомагнитная схема Кавказа и Северного Прикаспия является в настоящее время наиболее полной и палеонтологически обоснованной схемой магнитной зональности морского неогена России, а для ее европейской части – единственной специализированной схемой.

Таким образом, приведенная выше информация, полученная на основе применения методов палеомагнитологии, вносит существенный вклад в изучение истории нашей планеты и в прогнозирование ее дальнейшего развития.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 07-05-00353).*

#### Библиографический список

1. Основы экологии, безопасности жизнедеятельности и экономико-правового регулирования природопользования: Учеб. пособие / Под ред. М.Д. Гольдфейна. М., 2006. 408 с.

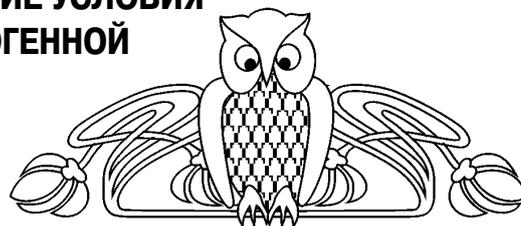


2. *Молостовский Э.А., Храмов А.Н.* Магнитостратиграфия и ее значение в геологии. Саратов, 1997. 180 с.
3. *Uffen R.* Influence of the Earth's core on the origin and evolution of life // *Nature*. 1963. Vol. 198, № 48. 76 p.
4. *Simpson J.F.* Evolutionary pulsations and geomagnetic polarity // *Bul. Geol. Soc. America*. 1966. Vol. 77, № 2. P. 197–204.
5. *Халфин Л.Л.* Теоретические вопросы стратиграфии. Новосибирск, 1980. 199 с.
6. *Black D.I.* Cosmic ray effects and faunal extinctions at geomagnetic field reversals. *Earth Planet. Sci. Letters*. 1967. № 3. P. 225–236.
7. *Waddington C.I.* Paleomagnetic field reversal and cosmic radiation // *Science*. 1967. Vol. 158. P. 913–915.
8. *Савин М.Г.* Кувырок магнитного поля // *Химия и жизнь* – XXI век. Февраль 2007. С. 6–10.
9. *Молостовский Э.А.* К проблеме взаимосвязей массовых вымираний с инверсиями магнитного поля Земли (МПЗ) // *Проблемы изучения биосферы: Тез. докл. Всерос. науч. конф.* Саратов, 1996. С. 87–88.
10. *Ryan W.B.F., Cita M.B., Rawson M.D. et al.* A paleomagnetic assignment of Neogene stage boundaries and the development of isochronous datum planes between the Mediterranean, the Pacific and Indian Oceans in order to investigate the response of the world ocean to the Mediterranean

- “salinity crisis” // *Riv. Ital. Paleont. Stratigr.* 1974. Vol. 80. № 4. P. 631–687.
11. *Молостовский Э.А.* Новые данные по палеомагнитной шкале СССР и некоторые общие вопросы магнитостратиграфии // *Современное состояние исследований в области геомагнетизма*. М., 1983. С. 143–162.
12. *Молостовский Э.А.* Шкала магнитной полярности мезозоя и кайнозоя и ее значение для стратиграфии (по материалам западной части СССР): Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. М., 1986. 34 с.
13. *Буров Б.В., Ясонов П.Г.* Введение в дифференциальный термомагнитный анализ горных пород. Казань, 1979. 160 с.
14. *Молостовский Э.А., Храмов А.Н.* Магнитостратиграфия и ее значение в геологии. Саратов, 1997. 180 с.
15. *Палеомагнитология*. Л., 1982. 312 с.
16. *Гребенюк Л.В., Застрожнов А.С.* Магнитостратиграфия неогеновых отложений Северного Прикаспия // *Изв. Саратов. ун-та*. 2002. Т. 2. С. 125–130.
17. *Гребенюк Л.В., Молостовский Э.А.* Магнитостратиграфия миоценовых отложений Северного Кавказа // *Недра Поволжья и Прикаспия*. 2008. Вып. 53. С. 20–29.
18. *Стратиграфический кодекс*. СПб., 1992. 120 с.
19. *Cox A.* Geomagnetic reversals // *Science*. 1969. Vol. 163, № 3864. P. 237–245.

УДК [551.8:551.247:553.634:551.736.1](470.44/47)

## ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И ТЕКТОНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ НИЖНЕПЕРМСКОЙ ГАЛОГЕННОЙ ФОРМАЦИИ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ОКРАИНЫ РУССКОЙ ПЛИТЫ



Ю.А. Писаренко, О.П. Гончаренко<sup>1</sup>, В.Ю. Писаренко,  
О.С. Киреенко, Т.Г. Карпова

Научно-исследовательский институт геологии и геофизики,  
Саратов

E-mail: pisarenko@nvniigg.san.ru

<sup>1</sup>Саратовский государственный университет,  
кафедра петрографии и минералогии

E-mail: GoncharenkoOP@mail.ru

**Paleogeographic and Tectonic Environment in the Lower  
Permian Halogen Formation from the Southeastern Margin  
of the Russian Plate**

**Yu.A. Pisarenko, O.P. Goncharenko\*, V.Yu. Pisarenko,  
O.S. Kireyenko, T.G. Karpova**

Нижнепермская галогенная формация в пределах юго-восточной окраины Русской плиты является крупной по площади распространения, мощности и полноте развития галогенного осадко-накопления. Проведенные исследования галогенной формации позволили впервые по юго-восточной части Русской плиты построить литолого-фациальные карты отдельных этапов соленакопления и установить пространственную миграцию солеродного бассейна во времени. Разработанная модель пермского этапа соленакопления позволит в пределах рассматриваемой территории осуществлять более надежный прогноз районов, перспективных на горно-химическое сырье, а также выделять подсолевые палеоподнятия как объекты для скопления углеводородов.

**Ключевые слова:** палеогеография, тектоника, галогенная формация, пермь, калийное сырье.

The Lower Permian halogen formation within the southeastern margin of the Russian Plate is to be considered a large one in terms of its spatial extent, thickness and completeness of halogen sedimentation development. Examination of the halogen formation has made it possible to construct lithology-facies maps of individual salt-accumulation stages and to determine the spatial migration of the salt-generating basin in time. The developed model of the Permian sedimentation stage within the area will enable more reliable forecasting of the regions prospective for mining-chemical feedstock; this will also allow to reveal subsalt swells as the objects of hydrocarbon accumulation.

**Key words:** paleogeography, tectonics, halogen formation, the Permian, potassium stock.



## Введение

В данной работе предлагается согласованная модель пермского этапа соленакопления по территориям Волго-Уральской антеклизы, Прикаспийской впадины и Предуральского прогиба на основе анализа уже накопленных модельных представлений различных исследователей и значительного объема данных бурения по рассматриваемой территории. Авторами статьи только по российской части территории исследований обследовано порядка 3000 скважин с использованием материалов сейсмических работ по изучению межскважинного пространства. Использование разработанной в НВНИИГГ (г. Саратов) ритмостратиграфической схемы соленосной и подсолевой карбонатно-сульфатной толщ (рис. 1), а также схемы расчленения и сопоставления разрезов скважин способствовали составлению «шаг за шагом» уточненной модели пермского соленакопления. Это позволило стратифицировать выделяемые реперные пласты, восстановить литолого-фациальные ряды, определить роль тектонических и седиментационных структуроформирующих факторов. При разработке модели использовались материалы В.С. Деревягина [1], С.М. Кореневского, М.Л. Вороновой [2], И.Н. Тихвинского [3, 4], М.Д. Диарова [5], С.А. Свидзинского [6] и других исследователей.

Ввиду слабой изученности соленосного разреза каменным материалом основным методом определения литологического состава, и в частности типов калийных солей, являлся комплекс ГИС. На базе полученных данных впервые по юго-восточной части Русской плиты построены литолого-фациальные карты отдельных этапов соленакопления, установлены факты пространственной миграции солеродного бассейна во времени. Разработанная модель пермского этапа соленакопления позволит в пределах рассматриваемой территории осуществлять более надежный прогноз горно-химического сырья, а также выделять подсолевые палеоподнятия как объекты для скопления углеводородов.

## Палеогеографические и тектонические условия формирования нижнепермской галогенной формации

Нижнепермская галогенная формация в пределах юго-восточной окраины Русской плиты является крупной по площади распространения, мощности и полноте развития галогенного осадконакопления. Ее формирование определялось следующими основными этапами соленакопления.

*Волгоградский этап соленакопления.* В результате анализа данных бурения по саратовско-оренбургскому сектору Прикаспийской впадины и ближайшему обрамлению установлено, что соленакопление началось в

пределах впадины с отложения каменной соли волгоградской свиты (рис. 2). По мере заполнения впадины площадь накопления каменной соли волгоградской свиты расширялась и захватывала наиболее опущенную в это время северную прибортовую часть впадины (Дальнее Саратовское Заволжье, уральский и оренбургский участки), отвечающую в тектоническом плане Восточно-Оренбургскому своду и южной окраине Бузулукского прогиба. В районе Соль-Илецкого выступа, в скв. 144 – Черниговской, мощность каменной соли свиты составляет 1100 м. В северном направлении, сокращаясь в мощности, породы волгоградской свиты распространены в пределах Восточно-Оренбургского свода, в южной части Бузулукского прогиба. На саратовском обрамлении впадины соль волгоградской свиты выполняла небольшие прибортовые прогибы. Мощность отложений свиты здесь не превышала 120 м. На волгоградском обрамлении Прикаспийской впадины породы свиты мощностью в 20 м выделены только на Лугово-Пролейской площади.

Есть основание предполагать, что соленакопление началось с конца артинского времени. По крайней мере, на Карасальской моноклинали мы отмечаем, что при переходе на территорию Прикаспийской впадины происходит расслоение подсолевой карбонатно-сульфатной толщи пластами каменной соли.

Опираясь на представления А.Л. Яншина [7], М.П. Фивега [8] и других исследователей, можно говорить, что на территории Прикаспийской впадины формирование волгоградской соли происходило в глубоководных условиях. Последнее находит свое подтверждение в том, что в районе бортового уступа отмечается фациальный переход пород нижнепермской подсолевой карбонатной толщи от рифогенного типа к депрессионному. Это свидетельствует о существовании в предкунгурское время некомпенсированной впадины глубиной до 1000 м. Одним из косвенных признаков, на основании которого можно судить об относительной глубоководности накопления волгоградской соли, является практическое отсутствие в её составе, при значительной мощности, сезонной годичной ритмичности и примеси калийных и магниевых солей. Вполне вероятно, что нижняя галитовая толща, выделяемая многими исследователями на территории Прикаспийской впадины, соответствует волгоградской свите. Лишь в конце волгоградского времени в пределах обрамления Прикаспийской впадины проявилась полигалитовая минерализация, которая на отдельных участках продолжалась, включая и начало балыклейского времени.

По результатам сопоставления разрезов скважин территории Соль-Илецкого выступа и Предуральского прогиба установлено, что последний выполнен каменной солью волгоградской свиты (рис. 3). Причем в западной части прогиба волгоградская свита имеет такое же строение, как

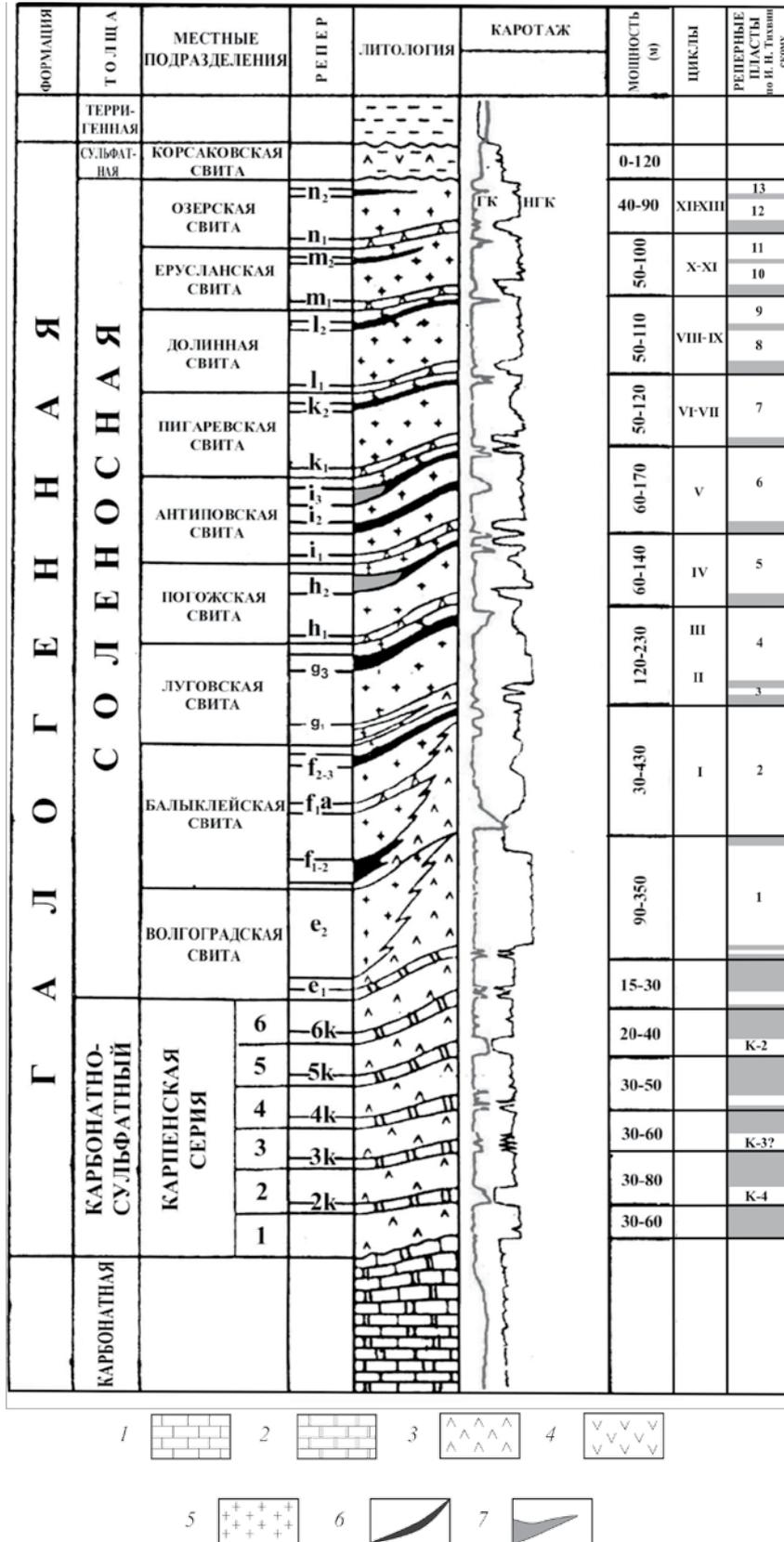


Рис. 1. Типовой стратиграфический разрез нижнепермской галогенной формации северного обрамления Прикаспийской впадины (Ю.А. Писаренко и др., 1982): 1 – известняк; 2 – доломит; 3 – гипс; 4 – ангидрит; 5 – галит; 6 – калийно-магниевая соль; 7 – магниевая соль (бишофит)

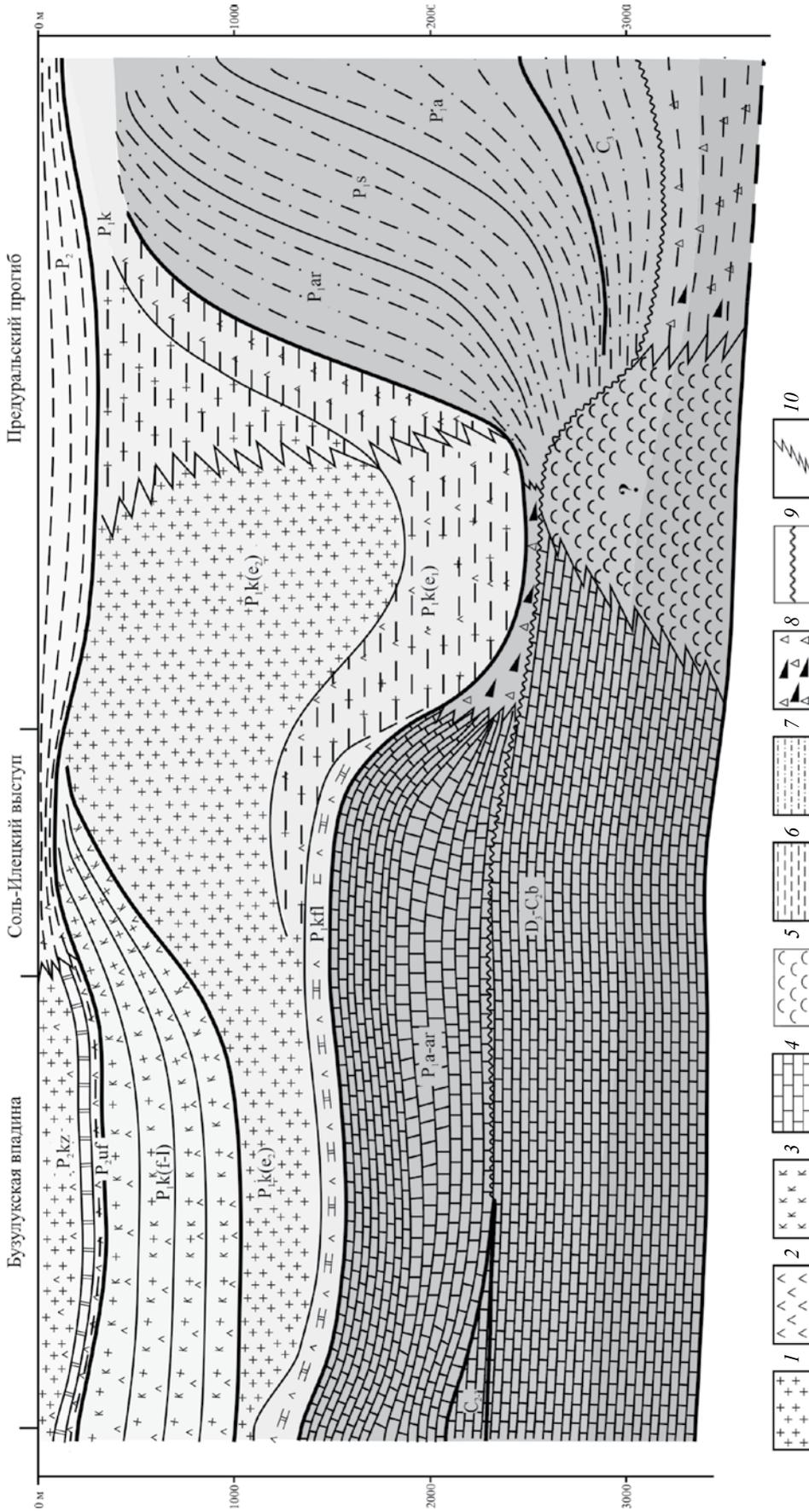


Рис. 2. Принципиальная палеомодель зоны сочленения Предуральского прогиба и приподнятого края Русской плиты на этапе завершения казанского соленакопления. (составил Ю.А. Писаренко): 1 – каменная соль; 2 – сульфатные породы; 3 – калийно-магниево-соли; 4 – карбонатные породы; 5 – рифогенные породы; 6 – терригенные породы; 7 – флишодные породы; 8 – чередование обломочных и глубоководных пород; 9 – поверхность стратиграфических несогласий; 10 – граница литолого-фациального замещения



и на обрамлении Прикаспийской впадины в районе Соль-Илецкого выступа. В восточном направлении разрез меняется за счет обогащения нижней его части терригенным материалом и постепенно переходя в терригенный молассовый комплекс. При этом верхняя галитовая толща в восточном направлении теряет свою мощность, а затем выклинивается, а нижняя терригенно-соленосная становится более мощной. Фактически, мы наблюдаем зарождение терригенно-соленосного бассейна вдоль восточного борта Предуральского прогиба, западнее которого отмечается переход его в галитовую стадию седиментогенеза. Каменная соль волгоградской свиты в пределах прогиба перекрыта терригенными красноцветными породами верхней перми.

Языки терригенной седиментации отмечаются в нижней части свиты и в пределах Соль-Илецкого выступа на Нагумановской площади. Вероятно, унаследованное с позднего карбона и ранней перми воздымание горных сооружений Палео-Урала в последующее время приводило к смещению соленакопления в западном направлении за пределы Предуральского прогиба на прилегающую часть Русской плиты.

*Балыклейский этап соленакопления.* После значительной компенсации волгоградской солью Прикаспийской впадины и Предуральского прогиба, а также наиболее опущенных участков прилегающего обрамления площадь соленакопления резко расширилась в западном направлении и захватила обширную территорию юго-восточной части Русской плиты. Балыклейский этап соленакопления отразил существование новой серии палеопрогибов, расположенных за пределами распространения волгоградской свиты. На территории Предуральского прогиба (оренбургский сектор) отложения балыклейской ритмопачки не установлены. Своеобразие данного этапа соленакопления определяется появлением ярко выраженной ритмичности за счет чередования пластов каменной соли, полигалитов и ангидритов. Значит, на втором этапе соленакопления глубина бассейна значительно уменьшилась, что послужило основанием для накопления калийных и магниевых солей. Вполне вероятно, что указанному этапу отвечает нижняя часть калиевого горизонта на территории Прикаспийской впадины.

В обрамлении Прикаспийской впадины соленакопление балыклейского этапа отразило существование двух крупных палеопрогибов Приволжского прогиба на волгоградской территории и Саратовско-Оренбургского, разделенных Ровенско-Мокроусовской седловиной. Прогибы характеризуются увеличением мощности ритмопачки на 150–200 м. Также выделена серия и более мелких прогибов (см. рис. 2), которые в плане совпадают с прогибами, выполненными породами волгоградской свиты. Северо-западнее Приволжского и севернее Саратовско-Оренбургского

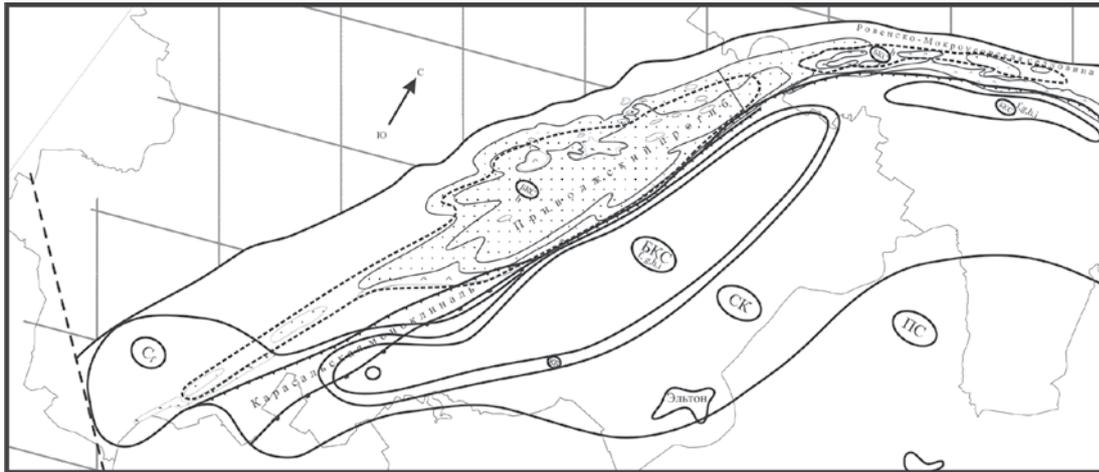
прогибов, а также между ними распространен лагунно-шельфовый тип разреза с развитием локальных палеоподнятий, разделяющих небольшие бассейны-спутники (бассейны-сателлиты). Полигалитовая седиментация нижних реперных зон f1-f1p происходила практически на всей территории, за исключением зон палеоподнятий. Анализ гаммаактивности реперных зон показывает, что в крупных прогибах отмечаются низкие концентрации полигалита в отличие от небольших прогибов-спутников, в которых происходило концентрирование рапы до стадии полигалита. Определенный генетический интерес представляют собой участки, на которых полигалитовая седиментация, начавшись в конце волгоградского времени, не прекращалась при формировании последующей сульфатной пачки пород и реперных зон f1 и f1p, как, например, в пределах Ташлинско-Кузнецовского локального прогиба, развивавшегося унаследовано с волгоградского времени.

В небольших локальных прогибах-спутниках западного обрамления Приволжского прогиба в лагунно-шельфовых условиях сгущение рапы достигало стадии осаждения сильвинит-полигалитовых и сильвинитовых руд (Гремячинская, Южно-Уметовская, Октябрьская площади на волгоградской территории). По данным ГИС, предполагается, что в скв. 65 Южно-Уметовской репер f1 в нижней части (20 м) представлен полигалитом, в верхней – сильвинитом (10 м на гл. 910 м).

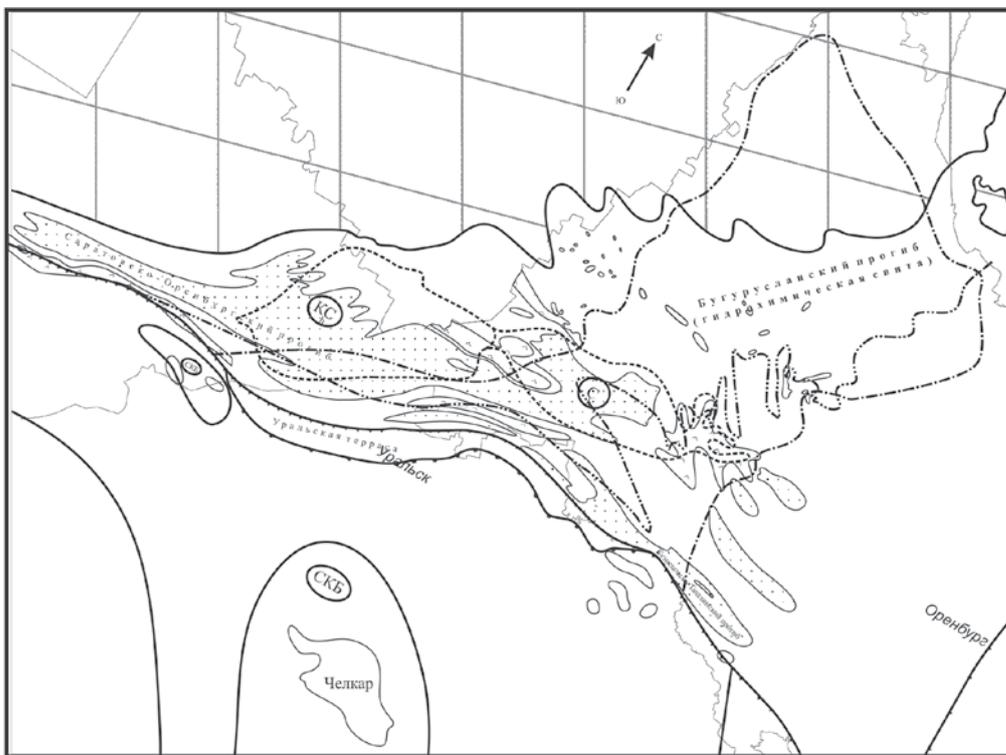
В районе Карасальской моноклинали на Есауловской площади встречены сильвиниты, вероятно, отвечают балыклейскому возрасту пород и по ГИС хорошо сопоставляются с сильвинитовым интервалом Эльтонского купола. В пределах саратовского сектора Прикаспийской впадины сильвинитовые пласты выделены в скважинах Озинской площади в нижней части разреза.

По данным бурения на территории Башкирско-Оренбургского Приуралья устьевая часть пролива, связывающая эпиконтинентальное море с бореальным арктическим океаном, в балыклейское время характеризовалась накоплением преимущественно сульфатных пород и в меньшей степени каменной соли при полном отсутствии полигалитовой минерализации. Полигалитовая минерализация проявлялась южнее только в локальных прогибах-спутниках (Шарлыкское месторождение полигалитов).

Особенности волгоградского и балыклейского этапов формирования галогенной формации указывают на то, что палеорельеф, существовавший перед соленакоплением, обусловлен проявлением как тектонического, так и седиментационного структуроформирующих факторов. Анализ подсолевой карбонатно-сульфатной толщи показывает, что уменьшение ее мощности сопровождается увеличением мощности



а



б

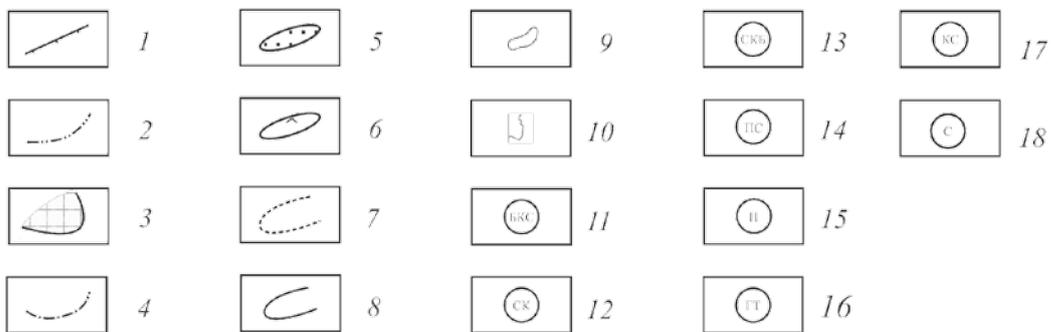


Рис. 3 Палеогеологическая карта пермского этапа соленакопления юго-восточной части Русской плиты: А – Волгоградское Поволжье; Б – Саратовско-Оренбургский участок; 1 – положение нижнепермского бортового уступа Прикаспийской впадины и Предуральяского прогиба, террас, осложняющих уступ; 2 – западная



нижней соленосной волгоградской ритмопачки, а в случае ее отсутствия – балыклейской. Обратное зеркальное соотношение мощностей подошвенной соленосной ритмопачки и подстилающей карбонатно-сульфатной толщ может быть объяснено тем, что формирование подсолевого палеорельефа в значительной степени определяется различной скоростью накопления осадков карбонатного, сульфатного и хлоридного составов в палеогеографически отличающихся обстановках, избирательностью формирования увеличенных мощностей к определенным участкам. Это свидетельствует о преобладающей роли седиментационного структуроформирующего фактора при образовании подсолевого палеорельефа. Вместе с тем процессы осаждения различных минеральных ассоциаций находились под контролем тектонического фактора.

Известно, что средняя скорость накопления карбонатных пород (кроме рифогенных) составляет менее 0,5 мм/год, ангидритов – 1–2 мм/год, каменной соли – 60–80 мм/год [9, 10]. Изменение солености вод палеобассейна всегда сопровождалось изменением уровня вод. Для формирования органогенных построек в шельфовой зоне в составе карбонатно-сульфатной толщи и подстилающей карбонатной наиболее благоприятные условия создавались на приподнятых мелководных частях бассейна. Сульфатная седиментация начинается с мелководных участков дна бассейна, где вода быстрее прогревается и достигает насыщения. На этих участках происходит накопление сульфатных пород, отличающихся повышенными значениями мощности, по сравнению с более глубоководными зонами. Ярким примером этого является Карачаганакский нижнепермский рифогенный массив, на вершине которого сформировалась ангидритовая «шапка» мощностью до 270 м.

Ритмичное строение подсолевой карбонатно-сульфатной толщи свидетельствует о периодической смене карбонатной и сульфатной седиментаций. При этом в обоих случаях в районе палеоподнятий, как наиболее прогреваемых, накапливались большие мощности сульфатных и карбонатных пород. При благоприятных палеогеографических условиях каждый последующий этап сульфатной или карбонатной седиментации приводил к более яркой выраженности района палеоподнятия в рельефе.

В условиях резкого повышения солености вод до отложения каменной соли распределение седиментационной мощности характеризуется обратной тенденцией. Происходит стекание более тяжелой рапы в погруженные участки дна бассейна, в пределах которых начинается отложение каменной соли. На мелководье каменная соль может отсутствовать или отличаться небольшой мощностью, по сравнению с глубоководными участками. Палеорельеф, существовавший перед соленаккумуляцией, был компенсирован отложениями нижней соленосной ритмопачки ввиду высокой скорости осадконакопления. В одних случаях это может быть волгоградская, а в других – на участках отсутствия волгоградской соли, – балыклейская ритмопачка.

В прибортовой части Прикаспийской впадины часто встречается иной тип палеоподнятия, связанный с выклиниванием регрессивной составляющей (ангидритов) карбонатно-сульфатного интервала и объединением карбонатных пород в единую толщу с подстилающими артинскими и сакмарскими карбонатами. Поднятия этого типа вскрыты в разрезах скважин Гремячинской площади, Лугово-Пролейской, Лободинской, Наримановской и Тингутинской площадях (Волгоградская область) и Карпенской площади (Саратовская область).

В региональном плане четко прослеживается роль тектонического фактора. По оренбургскому обрамлению заметно, что граница распространения отложений волгоградской свиты контролируется увеличением в северной части профиля мощности карбонатно-сульфатной толщи, сокращением мощности подстилающих карбонатных пород, что отражает положение Камелик-Чаганской системы разломов. По саратовскому профилю зона выклинивания волгоградской свиты отвечает южному склону Клиновской вершины и началу разрастания мощности подсолевой карбонатно-сульфатной толщи. На волгоградском пересечении западная граница Приволжского палеопрогиба контролируется положением восточной флексуры, а восточная – прибортовой линейной зоной палеоподнятий.

Таким образом, тектонические разломы девонского этапа зарождения контролировали распределение фаций, отражающих положение крупных прогибов и прилегающих приподня-

---

граница распространения отложений волгоградской свиты; 3 – зона отсутствия соленосных отложений нижней перми; 4 – граница распространения казанских соленосных отложений гидрохимической свиты (Бугурусланский прогиб); 5 – палеопрогибы обрамления Прикаспийской впадины; 6 – палеоподнятия обрамления Прикаспийской впадины; 7 – поля распространения преимущественно бишофитов, карналлит-сильвинитов (КС) и сильвинитов (С) погожского времени на территории обрамления Прикаспийской впадины; 8 – поля распространения преимущественно бишофитов, карналлит-сильвинитов и сильвинитов погожского времени на территории Прикаспийской впадины; 9 – изученные соляные купола; 10 – административные границы; 11 – преимущественно бишофит с подчиненным присутствием сильвинита и карналлита (БКС); 12 – преимущественно сильвинит с подчиненным присутствием карналлита (КС); 13 – преимущественно сильвинит с подчиненным присутствием карналлита и бишофита; 14 – полигалит, сильвинит (ПС); 15 – полигалит (П); 16 – галит и терригенный материал (ГТ); 17 – преимущественно карналлит с подчиненным присутствием сильвинита; 18 – сильвинит



тых частей шельфа. Положение бортовых зон прогибов контролировало развитие локальных палеоподнятий, амплитуда которых определялась седиментационным структуроформирующим фактором. Процессы локального образования биогермов на карбонатном этапе седиментогенеза предопределяют формирование положительных форм палеорельефа, которые могли являться импульсом для возникновения палеоподнятий в период накопления карбонатно-сульфатной толщи. Локальные участки палеоподнятий характерны и для приподнятых частей шельфа, реже для участков прогибов. Замечено, что на оренбургской территории зоны локальных прогибов сопряжены с линейными зонами дислокаций, выделяемых по терригенному девону и являющихся одним из основных объектов на нефть и газ.

После выяснения роли тектонического и седиментационного структуроформирующих факторов в образовании палеорельефа перейдем к оценке последующих этапов соленакопления.

*Луговской этап соленакопления.* Данное время началось с сульфатной садки трансгрессивного этапа, затем каменной соли и завершилось отложением полигалитовых, полигалит-карналлитовых пород. В северной части Оренбургской области, на территории Башкирии происходило осаждение только сульфатов и карбонатов. Видимо, через эту территорию поступал с севера поток слабоминерализованных рассолов. Южнее, в сторону Прикаспийской впадины, после существенной компенсации палеорельефа в балыклейское время, условия осадконакопления были достаточно однотипными и характеризовались присутствием полного ритма с ангидритом в подошве, каменной соли, а затем полигалитового репера g3. Отмечаемые незначительные изменения мощности и более существенные изменения литолого-фациального состава полигалитового пласта g3 свидетельствуют об унаследованном развитии палеопрогибов, выделяемых по волгоградской свите и балыклейской ритмопачке. В районах палеоподнятий полигалитовый репер отсутствует, его формирование осуществлялось в палеопрогибах. Тенденции, отмеченные для полигалитовой седиментации балыклейского времени, характерны и для луговского.

На территории Прикаспийской впадины восстановить условия седиментации луговского этапа соленакопления не представляется возможным. Можно лишь отметить, что сформированные в это время осадки могут соответствовать части калийной зоны сводного соленосного разреза Прикаспийской впадины.

*В погожское время* произошло наиболее значительное сгущение рапы. В конце погожского времени на волгоградском и саратовском обрамлениях Прикаспийской впадины происходило формирование бишофитового пласта с карналлит-сильвинитовой оторочкой в районе

унаследовано развивавшихся с балыклейского времени палеопрогибов (Приволжский прогиб, локальные прогибы Ровенско-Мокроусовской седловины). В краевых частях прогиба и его обрамления накапливались карналлит-сильвинитовые и сильвинитовые породы. За пределами прогиба на значительной территории калийное осадконакопление отсутствовало. Видимо, значительное сгущение рапы сопровождалось обмелением бассейна и отсутствием осадконакопления. Подмечено, что при увеличении мощности бишофитового пласта происходит сокращение мощности карналлит-сильвинитовой оторочки, и наоборот. Это можно объяснить двумя причинами. Наиболее благоприятными условиями для карналлит-сильвинитовых пород были склоновые части прогибов, так как они кристаллизовались из остаточных рассолов перед началом этапа опреснения или за счет растворения бишофита и впоследствии кристаллизации сильвина и карналлита.

Согласно исследованиям Б.И. Сапегина [11], на Верхнекамском месторождении зона распространения сильвина с максимальным содержанием KCl в породе располагалась в прибрежной части солеродного бассейна или вблизи ее, где глубины последнего были, естественно меньше, чем во внутренних областях.

В пределах Саратовско-Оренбургского прогиба пласт h2 погожской ритмопачки представлен сильвинит-карналлитовой (западная часть) и сильвинитовой (восточная часть прогиба) фациями. Сильвинит-карналлитовый тип разреза тяготеет к осевой части прогиба. Пласт h2 погожской ритмопачки имеет уже двухчленное строение (см. рис. 1). В кровле залегает пласт сильвинита, в подошве – карналлита. Мощность реперного пласта при этом увеличивается до 40 м. В палеоплане эта зона отвечает Саратовско-Оренбургскому палеопрогибу, выполненному балыклейской солью.

Было выявлено, что поле распространения сильвинитов контролируется положением двух зон палеоподнятий, выделяемых по балыклейской ритмопачке на Веселовско-Сорочинском и Зоринско-Давыдовском участках. На относительно изученной бурением Веселовской площади можно отметить, что сильвиниты тяготеют как к сводовой части палеоподнятия, так и склоновой. Вместе с тем полное соответствие границы палеоподнятия и поля распространения сильвинитов отсутствует. Вероятно, необходимо учитывать и более тонкие моменты седиментации сильвинита. Следует подчеркнуть, что за пределами выделенного поля сильвинитов репер h2 отсутствует. Вполне возможно, что в период садки сильвинитов на прилегающей территории были более распресненные условия вод морского бассейна, на которых происходила садка каменной соли. В северной части оренбургской территории также присутствуют



палеоподнятия, но меньшие по размерам. Как в их пределах, так и за пределами сильвинитовые пласты не встречаются. Возможно, на распространение сильвинитовых пород влияла также удаленность от северного устьевых канала, через который поступали в бассейн опресненные воды.

Таким образом, анализ результатов геофизического материала и данные по изучению кернового материала позволяют выделять в пределах волгоградско-оренбургского обрамления Прикаспийской впадины три типа палеопрогибов для продуктивного реперного пласта h2 погожской ритмопачки.

Первый тип прогиба характеризуется накоплением бишофитовых пород с карналлитовым пластом в подошве реперной зоны и сильвинитовым, образовавшимся за счет распреснения рапы, в кровле зоны (Приволжский прогиб на волгоградской территории, локальный прогиб в пределах Ровенско-Мокроусовской седловины – на саратовской). Второй тип прогиба, в котором пласт h2 представлен в подошве карналлитом, а в кровле сильвинитом (западная часть Саратовско-Оренбургского прогиба). Третий тип прогиба отделен от второго узкой перемычкой и сложен практически нацело, по данным ГИС, пластом пород сильвинитового состава (восточная часть Саратовско-Оренбургского прогиба). В восточной части Оренбургской области обрамления Прикаспийской впадины прогиб, имея мозаичные контуры, переходит в серию более мелких прогибов.

На севере Оренбургской области и территории Башкирии мы отмечаем в районе распресненного в балыклейское время пролива появление каменной соли погожской ритмопачки. Видимо, значительное сгущение рапы на территории Прикаспийского соленосного бассейна привело к смещению галитовой фации в северном направлении по проливу. Однако существенная калийная минерализация на завершающем регрессивном этапе здесь не проявилась. Анализ каротажного материала позволил отметить, что в отдельных скважинах на башкирской территории встречается пласт h2 сильвинитового состава (5–6 м) в верхней части и карналлитового в нижней части в скв. 35 Янгурчинской (инт. 250–267 м), скв. 801 Биккуловской (инт. 300–326 м), скв. 842 Уршакской (инт. 247–259 м).

На территории Прикаспийской впадины в разрезе соленосной толщи, как уже отмечалось, выделяется калиеносная зона, часть которой может соответствовать погожскому времени.

*Антиповское время.* В это время высокая степень минерализации наблюдалась только на Приволжской моноклинали, где происходило осаждение бишофита. На остальной территории происходило полигалит-карналлит-сильвинитовое соленакопление. В редких случаях отмечается осаждение чистых сильвинитов. Однако площадь

распространения бишофитов в Приволжском прогибе сократилась по сравнению с погожским временем. Это время является переломным моментом, когда регрессивные тенденции раннепермского этапа соленакопления сменяются трансгрессивными. Пожалуй, с данного времени началось сокращение и площади соленакопления в пределах юго-восточной части Русской плиты, о чем могут свидетельствовать сокращение площади распространения пород данной ритмопачки и отсутствие в зоне выклинивания пород ритмопачки увеличения мощности кровельного ангидрита за счет продуктов выщелачивания. На оренбургско-башкирском участке мы отмечаем сокращение или отсутствие каменной соли ритмопачки в районе предполагаемого устья пролива как результат существования распресненных условий.

*Пигаревский, долинный и озерский этапы соленакопления* характеризовались отсутствием значительных всплесков калийной минерализации. Видимо, в это время активизировался приток более опресненных рассолов через северный пролив и с континентальной суши. Выклинивание пород этих ритмопачек в районе устья пролива не сопровождается возрастанием мощности кровельного ангидрита. Можно считать, что современное поле распространения пород указанных ритмопачек на оренбургской территории близко к седиментационному. Возможно, эти этапы соленакопления без заметной калийной минерализации отвечают верхней галитовой толще центральных районов Прикаспийской впадины. Соответственно балыклейская, луговская, погожская и антиповская ритмопачки отвечают калиеносной зоне рассматриваемой территории.

## Выводы

В результате проведенных исследований было установлено, что существовавший перед соленакоплением палеорельеф в существенной мере обусловлен проявлением седиментационных структуроформирующих факторов при контроле тектонического фактора, который отвечал за положение крупных прогибов, линейных зон палеоподнятий. Локальные палеоподнятия подсолевого ложа практически теряют свою морфологическую выраженность к началу луговского времени. Именно с луговского времени можно говорить о контролирующей роли тектонического фактора, когда седиментационный структуроформирующий фактор практически утратил свою структурную значимость. Выделенные палеопрогобы, унаследовано развивавшиеся в период всего этапа соленакопления, контролировали формирование калийных и магниевых солей.

Концентрация полигалитовых пород определяется размером и изолированностью локальных палеобассейнов. В небольших прогибах-



спутниках, расположенных за пределами крупных палеопрогибов, концентрация рапы может достигать до осаждения сильвинитовых пород (реперная зона f2-3 на Гремячинском месторождении, реперная зона f1 на Южно-Уметовской площади, Приволжской площади, территории Башкирии).

Высокие концентрации сильвина создаются на склоновых и сводовых частях наиболее погруженных палеоподнятий, склонах палеопрогибов. Небольшие по площади палеопрогибы могут быть выполнены сильвинитом.

Карналлит в наибольших концентрациях накапливается в основном в районе палеопрогибов, чаще небольших или средних по площади. В случае присутствия в парагенезе также бишофита, карналлит отлагается на склонах палеопрогибов. Расположение карналлита на склонах палеопрогибов, как и в случае с сильвином, определяется не седиментационными условиями их кристаллизации, а тем, что карналлитовые породы образовались, судя по содержанию микроэлементов (брома и рубидия), из остаточных рассолов перед началом этапа опреснения. Бишофит накапливался только в районе прогибов с увеличенной мощностью в их осевых частях.

По характеру парагенеза калийно-магниевого солей выделяются три типа бассейна седиментации: выполненный бишофитом с карналлит-сильвинитовой оторочкой (волгоградское и саратовское обрамление Прикаспийской впадины), с карналлитовым пластом в подошве и сильвинитовым в кровле (саратовско-самарско-уральское обрамление Прикаспийской впадины) и с сильвинитовым пластом (оренбургское обрамление Прикаспийской впадины).

Под влиянием положительных тектонических подвижек Палео-Урала происходило смещение солеродного бассейна как в пространстве, так и во времени с территории Предуральского прогиба на прилегающую часть Русской плиты. В этом же направлении смещались флишоидные и молассовые комплексы нижней и верхней перми. Казанский соленосный бассейн уже занимал территорию Бузулукской впадины (Бугурусланский прогиб).

## Библиографический список

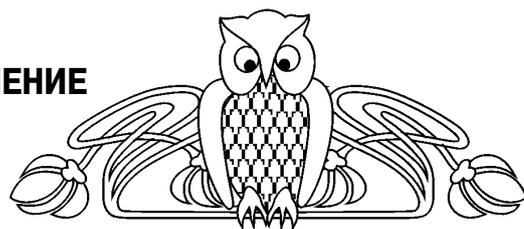
1. *Деревягин В.С.* Палеотектонические и палеогеографические условия соленакопления на территории Северного Прикаспия в нижнепермскую эпоху // *Строение и условия образования соленосных формаций* / Под ред. акад. А.Л. Яншина. Новосибирск, 1981. С. 36–44.
2. *Корневский С.М., Воронова М.Л.* Геология и условия формирования калийных месторождений Прикаспийской синеклизы и Южно-Предуральского прогиба. М., 1966. 375 с.
3. *Тихвинский И.Н.* Стратиграфия и калиеносные горизонты кунгура Прикаспийской синеклизы // *Советская геология*. 1974. № 5. С. 44–54.
4. *Тихвинский И.Н.* Закономерности распространения калийных солей в Предуральско-Прикаспийском бассейне // Там же. 1976. № 2. С. 102–113.
5. *Диаров М.Д., Диарова Р.А., Сериков Ф.Т.* Бороносность и калиеносность пород галогенной формации Прикаспийской впадины. Алматы, 2006. 184 с.
6. *Свидзинский С.А., Деревягин В.С., Ковальский Ф.И и др.* Корреляция разрезов и палеотектонические условия накопления кунгурской соляной толщи на западе Прикаспийской впадины // *Советская геология*. 1980. № 7. С. 40–51.
7. *Яншин А.Л.* О глубине солеродных бассейнов и некоторых вопросах формирования мощных соляных толщ // *Геология и геофизика*. 1961. № 1. С. 3–14.
8. *Фивег М.П.* О значении колебания уровня рапы солеродных бассейнов при седиментации соленосных сери // *Тр. ВНИИГ*. 1964. Вып. 45. С. 61–69.
9. *Мюллер П., Вингольц Р.* О генезисе углеводородов в карбонатных отложениях Цехштейна (верхняя Пермь) на территории Германской Демократической Республики // *Геология нефти и газа*. 1968. № 5. С. 56–61.
10. *Сувейдис П.И., Смильгис И.И.* К вопросу о развитии и коллекторских особенностях рифогенных образований в отложениях Цехштейна Прибалтики // *Литология и палеогеография биогермных массивов (ископаемые и современные)*. М., 1975. С. 139–145.
11. *Сапегин Б.И.* Распределение хлористого калия в сильвинитовых пластах Верхнекамского месторождения // *Проблемы соленакопления* / Под ред. акад. А.Л. Яншина. Т. 2. Новосибирск, 1977. С. 118–120.



УДК 504.53.062.4

## БИОГЕННАЯ МИГРАЦИЯ Cd, Pb, Ni И As В СИСТЕМЕ «ПОЧВА–РАСТЕНИЯ» И ИЗМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВЫ

Е.В. Плешакова<sup>1,3</sup>, М.В. Решетников<sup>2</sup>, Е.В. Любунь<sup>3</sup>,  
А.Ю. Беляков<sup>1</sup>, О.В. Турковская<sup>3</sup>



Саратовский государственный университет,

<sup>1</sup> кафедра биохимии и биофизики биологического факультета

E-mail: plekat@rambler.ru

<sup>2</sup> лаборатория геоэкологии и экологической геохимии геологического факультета

<sup>3</sup> Учреждение Российской академии наук Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов, Москва

Изучены роль сельскохозяйственных растений в миграции Cd, Pb, Ni и As в системе «почва–растение» и их вклад в снижение металлотоксикоза почвы. Исследовано влияние тяжелых металлов и мышьяка на ферментативную активность чернозема южного и восстановление биологической активности почвы в процессе убыли этих элементов из почвы при выращивании растений.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, фитоаккумуляция, биологическая активность почвы, дегидрогеназа, пероксидаза.

### Biogenic Migration of Cd, Pb, Ni, and As in the «Soil–Plant» System and Change in Soil Biological Activity

E.V. Pleshakova, M.V. Reshetnikov, E.V. Lyubun,  
A.Yu. Belyakov, O.V. Turkovskaya

The role of agricultural plants in the migration of Cd, Pb, Ni, and As in the soil-plant system and their contribution to decreasing soil metal toxicosis were studied. The influence of heavy metals and arsenic on the enzyme activity of southern chernozem and the restoration of soil biological activity during the elimination of these elements from planted soil were investigated.

**Key words:** heavy metals, phytoaccumulation, soil biological activity, dehydrogenase, peroxidase.

В биосферу Земли поступает более 500 тыс. химических веществ – продуктов техногенеза, большая часть которых аккумулируется в почве. Особое место среди них занимают тяжелые металлы (ТМ), которые по степени опасности уступают только пестицидам и значительно опережают такие широко известные загрязнители, как двуокись углерода и серы [1].

К антропогенным источникам загрязнения почв ТМ относятся продукты сгорания топлива, отходы металлообрабатывающей промышленности, промышленные выбросы, автомобильные выхлопные газы, средства химизации сельского хозяйства. Ежегодно сжигается до 5 млрд т горючих ископаемых. Почти все металлы можно найти в золе угля и нефти, порой в концентрациях, которые экономически оправдывают извлечение их из золы. Поскольку к настоящему времени добыто более 130 млрд т угля и 40 млрд т нефти, то

вместе с золой поступили на поверхность Земли миллионы тонн металлов, значительная часть которых аккумулирована в верхних горизонтах [2]. Предприятия цветной и черной металлургии ежегодно выбрасывают соединения Cu – более 150, Zn – 120, Pb – около 90, Ni – 12, Mo – 1,5 тыс. т, а Co – около 800, Hg – 30 т. Отходы машиностроительных и химических производств содержат соединения Pb – до 1, Cu – до 3, Cr, Fe, Mn и Ni – до 10 г/кг. С выхлопными газами в течение года на поверхность почв попадает более 250 тыс. т свинца. В результате деятельности человека содержание металлов в почвах может превышать их естественные концентрации в сотни и тысячи раз.

По мнению ученых, единственной возможностью сберечь биосферу является сохранение естественного биотического механизма регуляции окружающей среды, т.е. естественных биологических сообществ в неосвоенном человеком состоянии [3]. Таким образом, одними из актуальных проблем современности являются изучение биогеохимических циклов миграции химических элементов в системе «почва–растение» и сравнительный анализ биологической активности почвы с целью выявления изменений этой активности в агроценозах.

ТМ оказывают негативное воздействие на состав, свойства почвы и на ее плодородие. Прежде всего, оно сказывается на почвенной биоте и почвенно-поглощающем комплексе почв. Причины негативного влияния ТМ на биологические свойства почв заключаются в том, что эти металлы, связываясь с сульфгидрильными группами белков, с одной стороны, подавляют синтез белков, в том числе и их ферментов, с другой – изменяют проницаемость биологических мембран, что приводит к нарушению обмена веществ. Под действием ТМ происходят нарушения в структуре почвенного микробиоценоза, наблюдается снижение численности отдельных агрономически ценных групп микроорганизмов [4]. ТМ ингибируют процессы минерализации и синтеза различных веществ в почвах, подавляют дыхание почвенных микроорганизмов, вызывают микробиостатический эффект, могут выступать как мутагенный фактор. ТМ оказывают угнетающее воздействие на ферментативную активность почвы [5–8].

Поступая из почвы в растения и передаваясь по цепям питания, ТМ оказывают токсическое действие на растения, животных и человека [9]. Наиболее опасными среди ТМ считаются ртуть,



кадмий, свинец, никель и мышьяк [10]. Различные химические формы мышьяка, соединения хрома (VI), никеля (II) известны как канцерогены человека; соединения бериллия, кадмия – возможные канцерогены. Нервная система является мишенью практически для всех токсичных металлов. Есть данные, свидетельствующие о токсическом действии металлов на репродуктивную систему человека [1].

В Российской Федерации площадь загрязненных ТМ земель достигла более 70 млн га, из них около 1 млн га имеют чрезвычайно опасный уровень загрязнения [2]. В стране необходимы срочные меры по снижению уровня загрязнения ТМ, поэтому оценка их биогенной миграции в системе «почва–растение» и разработка эффективных способов очистки почв в России очень актуальна.

В настоящее время существуют различные способы восстановления загрязненных ТМ земель, среди которых технологии, основанные на использовании растений-гипераккумуляторов, являются наиболее экономичными, эффективными, деликатными по отношению к живой природе и эстетически привлекательными [11, 12]. Важной характеристикой почвенных агроценозов является биологическая активность очищенных почв, что будет являться доказательством восстановления почвенного плодородия, нарушенного под воздействием ТМ.

Цель настоящей работы состоит в изучении биогенной миграции ТМ и мышьяка в системе «почва–растение». В ходе работы оценивались влияние ТМ и мышьяка на активность почвенных ферментов и динамика этих показателей в процессе удаления ТМ из почвы при культивировании опытных растений. Решалась задача по отбору растений, которые могут быть использованы для снижения токсической нагрузки ТМ и мышьяка и улучшения качества почв.

## Материалы и методы

В модельных экспериментах по отработке технологии фиторемедиации загрязненных ТМ почв использовали чернозем южный, суглинистый, отобранный в Саратовской области, со следующими гранулометрическими характеристиками: частицы >5 мм – 1,8%; <5 – >3 мм – 4,2%; <3 – >1 мм – 10,0%; <1 – >0,5 мм – 11,5%; <0,5 – >0,25 мм – 19,0%; <0,25 мм – 53,6%. Чернозем южный содержал: 0,9% общего органического углерода, 6,3 мг/кг  $\text{NO}_3^-$ , 59,3 мг/кг  $\text{NH}_4^+$ , 156 мг/кг подвижного  $\text{P}_2\text{O}_5$ , рН почвы (солевой) 7,2. Таксономическая принадлежность почв приводится в соответствии с «Классификацией и диагностикой почв СССР» [13] с учетом региональных особенностей [14].

Перед экспериментом почву высушивали до воздушно-сухого состояния, удаляли крупные включения и просеивали через сито с диаметром

ячеек 5 мм. По 2 кг почвы помещали в 2-литровые пластиковые вегетационные сосуды, увлажняли до 50% полной влагоемкости растворами солей ТМ в расчетных концентрациях по металлу, мг/кг почвы:  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  – 480;  $\text{CdCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$  – 7,5;  $\text{NiSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$  – 60;  $\text{Na}_3\text{AsO}_4 \times 12\text{H}_2\text{O}$  – 50. Концентрации соответствовали 15 ПДК для каждого из металлов. Почву выдерживали в течение суток для равномерного распределения загрязнителя.

В данном эксперименте применялась технология фитоэкстракции – выращивание в течение определенного периода времени на загрязненной почве специально подобранных видов растений для извлечения корневой системой ТМ из почвы и максимального концентрирования их в наземной биомассе. В качестве фиторемедиантов использовали следующие растения: суданскую траву (*Sorghum sudanense* (Piper.) Stapf.) сорта «Саратовская 1183»; райграс пастбищный или многолетний (*Lolium perenne* L.); рапс яровой сорта «Веймар» (*Brassica napus* L.); сорго зерновое (*Sorghum safronum* L.) «Саратовское-75»; подсолнечник однолетний (*Helianthus annuus* L.) сорта «Саратовский 20». Все семена генерации 2007 года получены из коллекции ГНУ НИИ Юго-Восток (Саратов). Семена всех растений перед посевом предварительно калибровались, а дефектные удалялись. Для всех растений, кроме подсолнечника, посев осуществлялся во влажную почву из расчета 25 семян на сосуд. Подсолнечник засеивали из расчета 10 семян на сосуд. Через 14 сут после посева осуществляли прореживание всходов, оставляя по 15 растений на сосуд для всех видов, кроме подсолнечника, которого оставляли по 4 растения на сосуд.

Культивирование растений проводили в течение 10 недель в вегетационных сосудах в контролируемых условиях: температура 23–25°C, световой период 14/10 ч (день/ночь), интенсивность освещения 8 тыс. люкс и влажность почвы на уровне 50% от полной влагоемкости почвы. Каждый вариант опыта повторяли по 3 раза. В качестве контроля использовали чистую почву с растениями и без них и загрязненную почву без растений.

В ходе исследований изучали воздействие ТМ на активность почвенных ферментов: дегидрогеназ и пероксидаз [15]. Дегидрогеназную активность почвы определяли колориметрически на КФК-2 по восстановлению бесцветного субстрата 2,3,5-трифенилтетразолий хлорида, который, акцептируя мобилизованной дегидрогеназой водород, превращался в 2,3,5-трифенилформазан, имеющий красную окраску. Пероксидазную активность оценивали методом Л.А. Карягиной и Н.А. Михайловой колориметрически на КФК-2 по окислению гидрохинона, который под действием пероксидазы в присутствии кислорода перекиси водорода превращался в 1,4-*n*-бензохинон, имеющий желтую окраску.



Остаточные концентрации Pb, Cd и Ni в почве определяли методом атомной абсорбции на спектрофотометре Квант-2АТ. Валовые формы извлекались путем химического разложения почв кипячением с HNO<sub>3</sub> (1 : 1). Мышьяк определяли на ФЭК-2 с предварительным разложением проб смесью HNO<sub>3</sub> и H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и при откачке мышьяковистого водорода. Погрешности определения: Pb, Ni, Cd – 10%; As при концентрации < 5 мг/кг – 18%, при > 5 мг/кг – 10%.

Математическую обработку полученных данных выполняли с помощью компьютерной программы Microsoft Excel 2003.

### Результаты и обсуждение

Известно, что почвы не только связывают загрязнители, но и выступают как природный буфер, контролирующий перемещение химических элементов и соединений в атмосферу, гидросферу, живое вещество [9]. По способности связывать ТМ почвы образуют следующий ряд: серозем > чернозем > дерново-подзолистые почвы. В настоящих экспериментах мы использовали чернозем южный – наиболее типичный для региона Саратовской области.

Экспериментальные растения были выбраны на основании анализа литературных данных и ранее проведенных собственных исследований.

Данные растения были толерантны к высоким концентрациям металлов, способны к поглощению и аккумуляции нескольких металлов одновременно в высоких концентрациях и эффективному транспорту из корневой системы в надземную пожинаемую биомассу, отличались высокой скоростью роста и большой биомассой, имели глубоко разрастающуюся корневую систему. Как было установлено, выбранные растения характеризовались следующими максимальными показателями по сравнению с другими видами: всхожестью семян, энергией прорастания, средней площадью листовой пластины, суммарным содержанием хлорофиллов а и b. Кроме того, все растения районированы в Средневолжском и Нижневолжском регионах России, их агротехнология хорошо разработана.

В ходе экспериментов были обнаружены различия по снижению содержания ТМ в почве (рис. 1). В ряду исследованных металлов свинец максимально элиминировал из почвы под воздействием фиторемедиационных приемов. Через 2,5 месяца культивирования растений содержание свинца снизилось на 32–50% по сравнению с исходным значением, максимальное снижение (примерно на 50%) наблюдалось в варианте с рапсом, минимальное – с сорго. В почве с суданской травой, подсолнечником и райграсом убыль свинца в загрязненной почве составила около 40%.

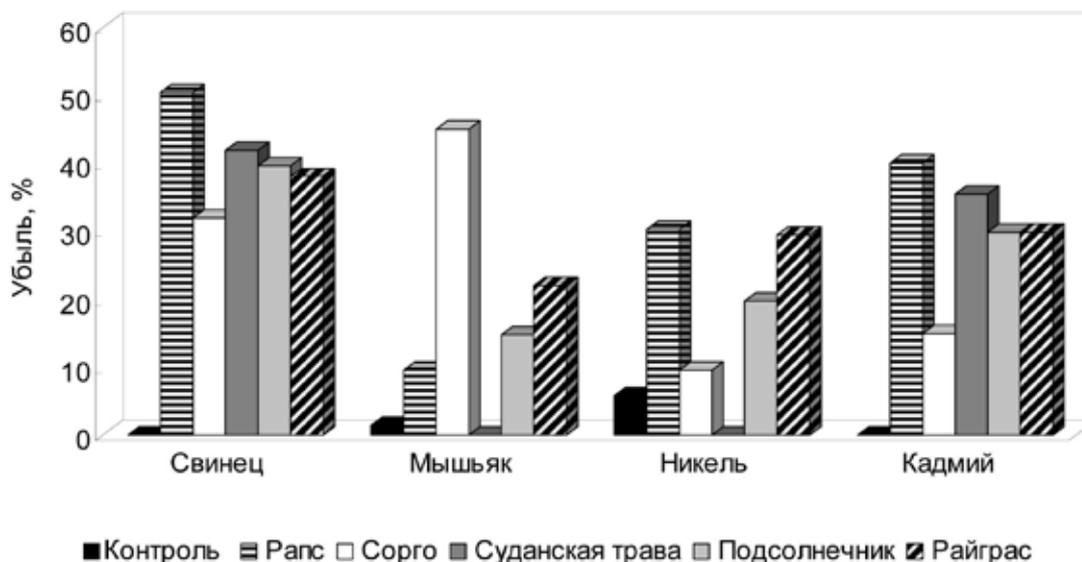


Рис. 1. Убыль тяжелых металлов из почвы в процессе фиторемедиации

Содержание кадмия в ходе очистки снизилось менее заметно, чем свинца, однако обнаружались сходные тенденции. Так, максимальная убыль наблюдалась в почве при выращивании рапса (40%), минимальная – в варианте с сорго (15%), при культивировании райграса, подсолнечника и суданской травы убыль составила 30–35%. Содержание никеля после фиторемедиации снизилось в среднем от 10 до 30%, за исклю-

чением варианта с суданской травой, в котором остаточное содержание никеля практически не изменилось по сравнению с исходным уровнем. Наибольшее снижение никеля наблюдалось при культивировании рапса и райграса – около 30%, при выращивании подсолнечника и сорго – на 20 и 10% соответственно.

Результаты, противоположные вышеописанным, были отмечены при оценке убыли мышьяка



из почвы. В варианте максимальная убыль мышьяка составила примерно 45%, культивирование в загрязненной почве суданской травы не оказало никакого влияния на снижение концентрации мышьяка в почве. Рапс, который эффективно снижал содержание свинца, кадмия и никеля в почве, оказал наименьшее воздействие на снижение мышьяка по сравнению с другими растениями. Выращивание подсолнечника и райграсса способствовало убыли мышьяка на 15 и 22% соответственно.

Важно отметить, что в загрязненной почве без растений-фиторемедиантов снижения уровня свинца и кадмия не наблюдалось, а убыль мышьяка и никеля была незначительной – 1,3 и 5,7%. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности очистки почв от ТМ с помощью исследованных растений.

При попадании ТМ в почву часто происходят глубокие изменения ее биологических свойств, что, в свою очередь, замедляет рост и развитие растений, снижает урожайность сельскохозяйственных культур. Поэтому технологии ремедиации почв, загрязненных ТМ, должны восстанавливать и возвращать почвы в сельскохозяйственный оборот.

Значительную роль в вовлечении ТМ и мышьяка в биогенную миграцию играют корневые выделения растений. Через корневые выделения растения взаимодействуют с микроорганизмами ризосферы, благодаря активной жизнедеятельности которых улучшается общее состояние почвенного ценоза. Исходя из вышесказанного, нами исследовалась ферментативная активность почвы после культивирования растений. Известно, что ни один биологический процесс в почве не совершается без участия широко распространенных у почвенных микроорганизмов ферментов дегидрогеназ, которые катализируют реакции дегидрирования органических веществ и выполняют функцию промежуточных переносчиков водорода. Дегидрогеназы характеризуют общую метаболическую активность почвенной микрофлоры и способность почвы к самоочищению [16].

В исходной чистой почве дегидрогеназная активность составляла 0,435 мкл  $H_2$ /г за 24 ч; через 3 сут после загрязнения почвы ТМ наблюдалось ее снижение на 10–20%, исключением является загрязнение мышьяком (рис. 2). Через 2,5 месяца почвенные дегидрогеназы под влиянием ТМ ингибировались еще заметнее: в 4,5–7 раз во всех образцах. Как следует из полученных данных, максимальное ингибирующее действие на активность почвенных дегидрогеназ оказал никель, минимальное – кадмий. В чистой почве дегидрогеназная активность также снизилась по сравнению с исходным содержанием примерно в 2 раза, что может быть связано с израсходованием субстратов для дегидрогеназ в ходе длительного эксперимента.

Было установлено, что культивирование всех опытных растений стимулировало активность дегидрогеназ в почве с ТМ. При выращивании суданской травы дегидрогеназная активность была в среднем в 2,6 раза, сорго, райграсса и подсолнечника – примерно в 3,7 раза; рапса – в 4,5 раза выше, чем в загрязненной почве без растений. При выращивании подсолнечника дегидрогеназная активность почвы через 2,5 месяца очистки от никеля была даже выше, чем в исходной чистой почве. Минимальное стимулирующее действие растений на активность дегидрогеназ проявлялось в условиях загрязнения почвы мышьяком и свинцом, что свидетельствовало о высокой токсичности данных металлов. В то же время в загрязненной свинцом почве при культивировании всех растений наблюдалась достоверная обратная корреляция (коэффициент корреляции  $R^2 = 0,5107$ ) между активностью дегидрогеназ в почве и остаточным содержанием в ней свинца. Это свидетельствовало об уменьшении токсического влияния данного ТМ на дегидрогеназы.

В ходе экспериментов были обнаружены видовые различия растений по оптимальному восстановлению активности дегидрогеназ в почве, загрязненной различными ТМ. В почве, содержащей свинец, максимальную стимуляцию дегидрогеназной активности обеспечивало сорго, мышьяк и кадмий – рапс и райграсс, никель – рапс и подсолнечник. В целом рапс следует выделить как растение, стимулирующее активность дегидрогеназ в почве, загрязненной ТМ с разным уровнем токсичности для данных ферментов. Такое действие рапса может быть связано с «ризосферным эффектом», при котором в его прикорневой зоне увеличивается численность микроорганизмов, в том числе и продуцирующих дегидрогеназы. Данное предположение подтверждается наблюдаемой в настоящих экспериментах повышенной активностью дегидрогеназ в чистой почве при культивировании именно рапса.

Ферменты пероксидазы осуществляют окисление органических веществ почв (фенолов, аминов, некоторых гетероциклических соединений) за счет кислорода перекиси водорода и других органических перекисей. Они выполняют защитную функцию, обезвреживая перекиси и разлагая ароматические ксенобиотики в почве, а также играют важную роль в процессе образования гумуса [17]. Активность почвенных пероксидаз, которые в отличие от дегидрогеназ имеют преимущественно растительное происхождение, в исходной чистой почве составляла 0,42 мг *n*-бензохинона; через 3 сут после загрязнения почвы ТМ наблюдалось ингибирование данных ферментов на 16–27% (рис. 3). Как показали результаты исследований, через 2,5 месяца пероксидазная активность почвы, загрязненной кадмием, восстановилась до исходных значений чистой почвы; мышьяком, никелем и свинцом – осталась на пониженном уровне, наблюдаемом через 3 сут после внесения

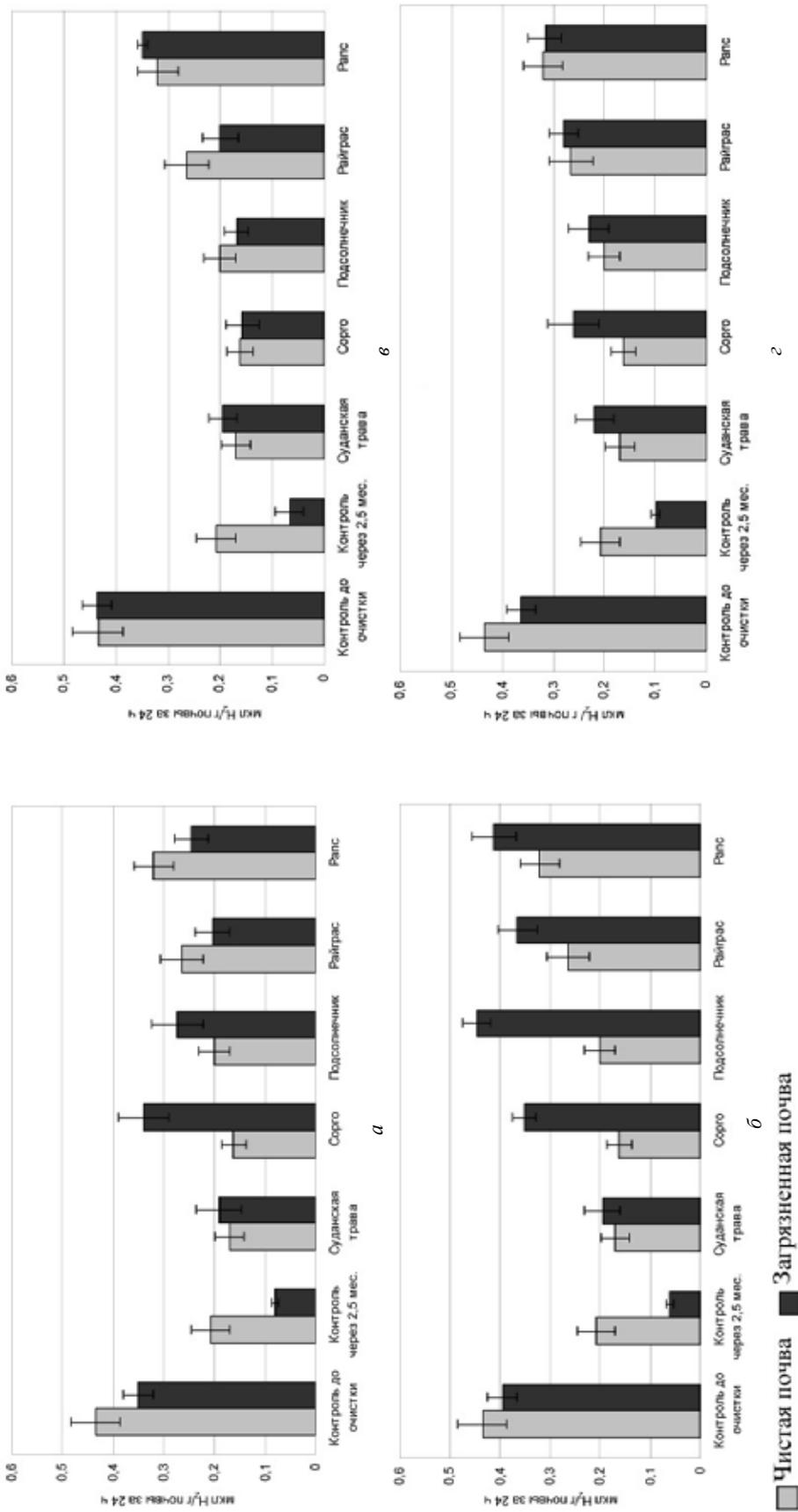


Рис. 2. Активность дегидрогеназы в загрязненной тяжелыми металлами (а – Pb; б – Ni; в – Cd) почве при культивировании опытных растений

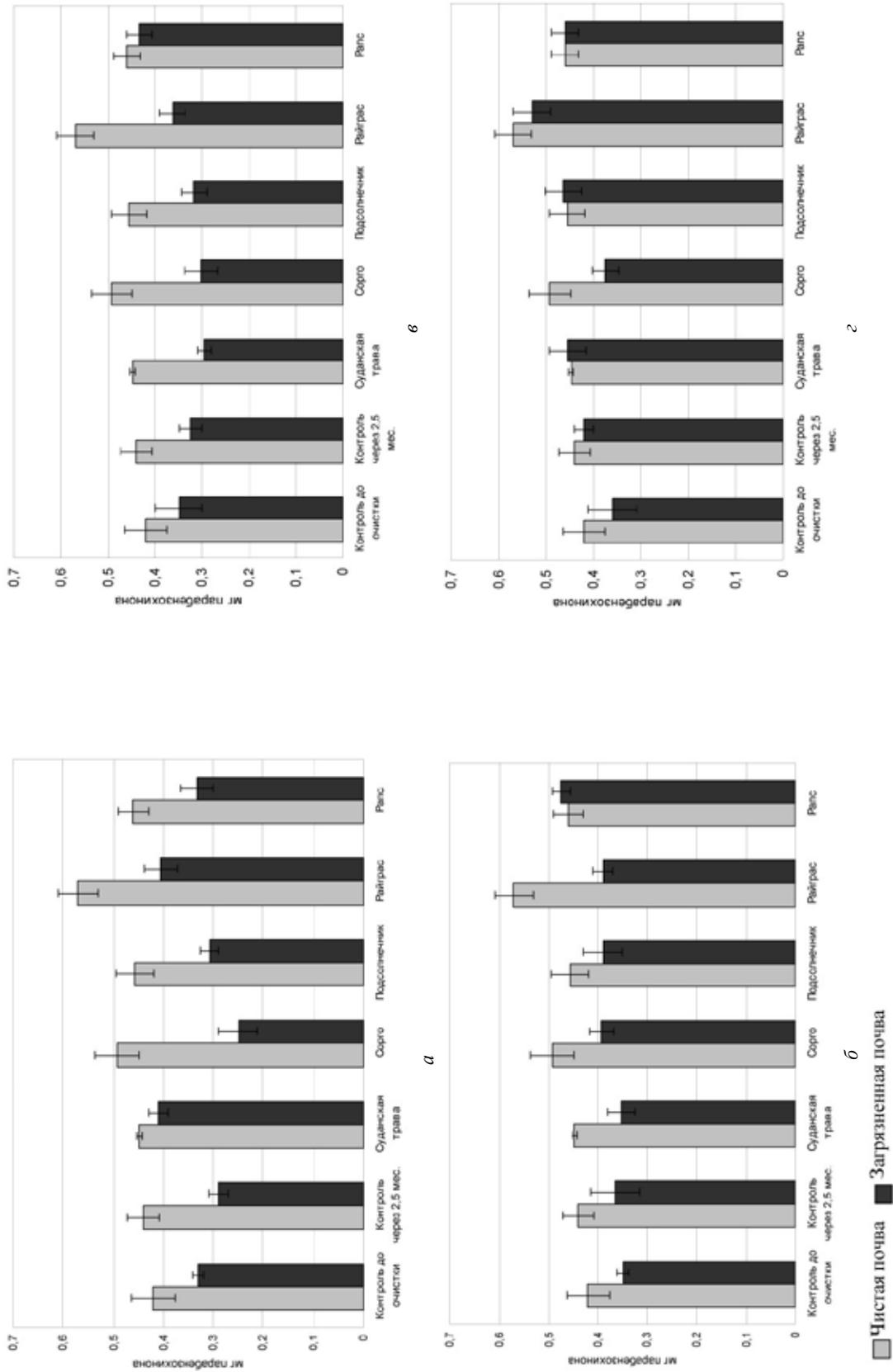


Рис. 3. Активность пероксидаз в загрязненной тяжелыми металлами (а – Pb; б – Ni; в – As; г – Cd) почве при культивировании опытных растений



токсикантов. Наиболее выраженное ингибирующее действие на активность почвенных пероксидаз оказал свинец – через 2,5 месяца их активность снизилась еще заметнее.

Культивирование опытных растений в большинстве случаев стимулировало активность пероксидаз в почве с ТМ. Известно, что контакт корней растения с поллютантами индуцирует активность растительных пероксидаз и их экскрецию в почву [18]. При выращивании райграса и рапса стимуляция наблюдалась во всех вариантах. При культивировании райграса максимальное увеличение по сравнению с загрязненной почвой без растений обнаруживалось в почве со свинцом и кадмием – на 40 и 26% соответственно, при культивировании рапса – в почве с мышьяком и никелем – на 33 и 30% соответственно. Подсолнечник стимулировал активность пероксидаз в загрязненной почве на 6–10%, исключение составляли почвы с мышьяком, суданская трава – на 34% в почве со свинцом и на 8% в почве с кадмием. Сорго не оказывало заметного стимулирующего влияния на активности пероксидаз в почве. При загрязнении почвы кадмием показатели активности пероксидаз приближались к значениям в чистой почве при культивировании всех растений, за исключением сорго. Значительная обратная корреляция (коэффициент корреляции  $R^2 = 0,9182$ ) выявлялась между активностью пероксидаз в почве и остаточным содержанием в ней никеля, что свидетельствовало о восстановлении пероксидазной активности с уменьшением ингибирующего действия никеля.

Обнаруженные видовые различия растений по оптимальному восстановлению активности пероксидаз в почве, загрязненной различными ТМ, выглядели следующим образом. В почве со свинцом максимальную стимуляцию пероксидазной активности обеспечивали райграсс и суданская трава, с мышьяком – рапс и райграсс, никелем – рапс, кадмием – райграсс.

В целом райграсс выделяется как растение, привносящее наиболее заметный вклад в общий пул почвенных пероксидаз, вероятно, за счет стимуляции собственных внутриклеточных пероксидаз, что положительно влияет и на активность пероксидаз в загрязненной почве. Рапс – растение, способствующее восстановлению исходной пероксидазной активности, которая снизилась при внесении в почву ТМ.

### Заключение

Проведенные нами исследования показали, что загрязнение почвы кадмием, никелем, свинцом и мышьяком в концентрации 15 ПДК оказывало ингибирующее воздействие на почвенные окислительно-восстановительные ферменты, выполняющие важные функции в почве и характеризующие ее биологическую активность и плодородие.

Использование растений (суданская трава, райграсс пастбищный, рапс яровой, сорго зерновое и подсолнечник однолетний) для очистки почвы от ТМ стимулировало активность дегидрогеназ во всех вариантах загрязненной почвы, пероксидаз – во многих вариантах, что коррелировало с убылью загрязнителей и свидетельствовало об интенсификации процессов восстановления почвы.

Показано, что максимальная убыль ТМ (свинца, кадмия и никеля) наблюдалась в почве при культивировании рапса. Рапс яровой, как показали исследования, наибольшим образом стимулировал активность дегидрогеназ и пероксидаз в почве. Содержание мышьяка в почве заметно снижалось при культивировании сорго зернового.

Полученные данные могут быть использованы для дальнейшей работы по биогеохимическому районированию Саратовской области, а также при разработке природоохранных мероприятий.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям (госконтракт № 02.512.11.2210).*

### Библиографический список

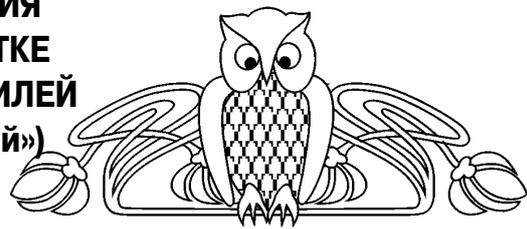
1. Токсикологическая химия: Учебник для вузов / Под ред. Т.В. Плетеневой. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2005. 512 с.
2. Садовникова Л.К., Орлов Д.С., Лозановская И.Н. Экология и охрана окружающей среды при химическом загрязнении. М.: Высш. шк., 2006. 335 с.
3. Лосев К.С. Экологические проблемы и перспективы устойчивого развития в России в XXI веке. М.: Космосинформ, 2001. 400 с.
4. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. 256 с.
5. Hemida S.K., Omar S.A., Abdel-Mallek A.Y. Microbial populations and enzyme activity in soil treated with heavy metals // Water, Air and Soil Pollution. 1997. Vol. 95, № 1–4. P. 13–22.
6. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на эколого-биологические свойства чернозема обыкновенного // Экология. 2000. № 3. С. 193–201.
7. Mikanova O., Kubat J., Mikhailovskaya N. et al. Influence of heavy metal pollution on some soil biological parameters in the alluvium of the Litavka river // Rostlinna Vyroba. 2001. Vol. 47, № 3. P. 117–122.
8. Murata T., Kanao-Koshikawa M., Takamatsu T. Effects of Pb, Cu, Sb, Zn and Ag contamination on the proliferation of soil bacterial colonies, soil dehydrogenase activity, and phospholipid fatty acid profiles of soil microbial communities // Water, Air and Soil Pollution. 2005. Vol. 164. P. 103–118.
9. Радомская В.И., Моисеенко Н.В. Влияние осадков сточных вод на поведение тяжелых металлов в системе почва – растение // Агрохимия. 2006. № 11. С. 77–78.
10. Martin M., Richards M.J. PCB and heavy metal soil remediation, former boat yard, South Dartmouth, Massachusetts // Intern. J. Soil, Sediment and Water. 2009. Vol. 2, № 1. P. 1–5.



11. Lasat M.M. Phytoextraction of toxic metals. A review of biological mechanisms // J. Environ. Quality. 2002. Vol. 31. P. 109–120.
12. Галиулин Р.В., Галиулин Р.А., Кочуров Б.И. Фитоэкстракция почв и промышленных сточных вод, загрязненных тяжелыми металлами: концептуальная модель технологий фитоэкстракций, фито- и ризофилтрации // Экологические системы и приборы. 2004. № 2. С. 24–33.
13. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 220 с.
14. Болдырев В.А., Пискунов В.В. Полевые исследования морфологических признаков почв: Учеб. пособие. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2006. 60 с.
15. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
16. Dick R.P. Soil enzyme activities as integrative indicators of soil health // Biological indicators of soil health / Eds. C.E. Pankhurst, B.M. Doube, V.V. Gupta. Wallingford: CABI Publ., 1997. P. 121–156.
17. Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. 3-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 448 с.
18. Квеситадзе Г.И., Хатисаишвили Г.А., Садуншвили Т.А., Евстигнеева З.Г. Метаболизм антропогенных токсикантов в высших растениях. М.: Наука, 2005. 199 с.

УДК [550.83]

## ГЕОЛОГО-ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГРАВИМАГНИТНЫХ ДАННЫХ ПРИ ОТРАБОТКЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ (на примере профиля «Уварово-Свободный»)



М.И. Рыскин, Е.Н. Волкова, К.Б. Сокулина

Саратовский государственный университет,  
кафедра геофизики  
E-mail: riskinmi@yandex.ru

В статье рассматриваются результаты геологической интерпретации материалов, полученных при отработке регионального профиля «Уварово-Свободный» протяженностью 376 км. В процессе интерпретации использованы комплексные гравимагнитные построения. Выделены новые и подтверждены ранее известные тектонические элементы, уточнено положение разделяющих их границ.

**Ключевые слова:** аномалия, гравиразведка, магниторазведка, прогиб, антеклиза, грабен, геопотенциальное поле, комплексный параметр, кристаллический фундамент, максимум, минимум, плутон, региональный профиль.

### Geological-Tectonic Interpretation of Gravity-Magnetic Information in Development of Regional Geophysical Profiles (for Example: the Profile «Uvarovo-Svobodnyi»)

M.I. Ryskin, E.N. Volkova, K.B. Sokulina

The article deals with the results of geological interpretation of geophysical data received during traversing («Uvarovo-Svobodny» line, the length is 376 km). Integrated gravitomagnetic installations alongside were applied during the process of interpretation. The new tectonic elements were found, and previously found tectonic elements were confirmed. More accurate information about location of the border separating the mentioned tectonic elements was obtained.

**Key words:** anomaly, gravitational exploration, geomagnetic survey, flexure, anticline, graben, geopotential field, complex parameter, crystalline foundation, maximum, minimum, pluton, regional profile.

Основными положениями федеральных программ развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации с 1994 года в качестве

целевой задачи предусматривается создание государственной сети опорных геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин. В состав геофизических работ рекомендовано включать глубинные сейсмические и электромагнитные зондирования, а также аэромагнитные и гравиметрические исследования [1]. Однако последние проводились далеко не всегда. Между тем роль гравимагнитной информации в решении задач, которые ставятся при отработке подобных региональных профилей, весьма значительна, поскольку целеполагание их состоит в установлении основных закономерностей глубинного геологического строения нефтегазоносных бассейнов и горнорудных районов, а также в определении особенностей их тектоники. Известно, что эти закономерности и особенности обусловлены, прежде всего, вертикально-блоковой структурой кристаллического фундамента, а вертикально-блоковые модели лучше всего поддаются изучению именно геопотенциальными методами. При этом в поле силы тяжести более адекватное отображение находит рельеф поверхности фундамента, т.е. выступы (горсты) и впадины (грабены), тогда как магнитное поле более чувствительно к неоднородностям его внутренней структуры. В обоих полях четко проявляют себя линейными градиентными сгущениями изолиний глубинные разломы. В то же время выявление таких элементов геологического строения в волновом поле и на кривых электрозондирований представляет собой довольно сложную проблему. В работе [2], посвященной проблемам комплексной интерпретации геофизических данных по региональным профилям, отмечается, что гра-



виразведку и аэромагниторазведку необходимо проводить по площади в полосе до 50 км на всей протяженности регионального профиля, так как профильная кривая интегрирует суммарное влияние всех петроплотностных и петромагнитных неоднородностей в трехмерном пространстве, а не только тех, что расположены в вертикальной плоскости профиля. Тем не менее на практике нередко ограничиваются проведением сугубо профильных наблюдений.

В предлагаемой статье рассматриваются эти и иные гравимагнитные аспекты проведения комплексных геофизических исследований по линии регионального профиля «Уварово–Свободный» длиной 360 км и трем субмеридиональным рассечкам (290 км), проложенным на территории Саратовской области в малоизученной зоне сочленения Воронежской антеклизы с Рязано-Саратовским прогибом с целью уточнения модели геологического строения, оценки ресурсного потенциала и повышения лицензионной привлекательности нераспределенного фонда недр.

### О методике исследований

Профильные высокоточные гравиметрические полевые работы осуществлены двумя приборами ГНУ-К2 с инструментальной погрешностью 0,03–0,05 мГал, с применением опорной сети, производством контрольных измерений в объеме 10% от общей протяженности профилей и с расстоянием между точками наблюдений 200 м. Профильные высокоточные магнитометрические полевые работы проведены двумя магнитометрами ММП-203 с расстоянием между точками 25 м. Осуществлены также все необходимые топографо-геодезические (нивелировочные) работы. Полевые гравимагнитные исследования и интерпретация полученных данных выполнены коллективом сотрудников и студентов кафедры геофизики Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского в 2006–2008 гг.

Главная особенность интерпретационного этапа состояла в увязке профильных данных с фоновыми материалами гравимагнитных съемок прошлых лет. Такая увязка и совместный анализ этих разнородных данных потребовались для того, чтобы компенсировать упомянутую ущербность профильной системы наблюдений и выявить пространственные закономерности распределения потенциальных полей, без чего невозможно достижение поставленных целей по уточнению модели геологического строения вышеназванной зоны сочленения двух крупных тектонических элементов Восточно-Европейской платформы.

Методика комплексной интерпретации гравимагнитных данных заключалась в проведении следующих операций:

1) анализ общей структуры геопотенциальных полей в двумерном (профильные кривые) и в

трехмерном пространстве (карты  $\Delta g_a^B$  и  $\Delta T_a$ ), их сопоставление и увязка;

2) анализ геологической природы аномалий на кривых  $\Delta g$  и  $\Delta T$  с привлечением нижеследующих преобразований:

– выявление пространственных закономерностей распределения аномалий  $\Delta g$  и  $\Delta T$  на основе вычисления карт их корреляции и направленного суммирования;

– выявление пространственных закономерностей локализации аномалий  $\Delta g$  и  $\Delta T$  на основе вычисления карт  $\Delta g_{\text{ост}}$  и  $\Delta T_{\text{ост}}$ , карт градиентов Саксова–Нигарда, карт стандартов (возмущенности) полей  $\Delta g$  и  $\Delta T$ ;

– решение двумерной обратной задачи гравиметрической и магниторазведки по профильным кривым  $\Delta g$  и  $\Delta T$ .

Теоретические основы и геологическое содержание этих операций хорошо известны из литературных источников, в том числе из публикаций исполнителей. Математическое обеспечение интерпретационных процедур составили:

– комплекс программ «TRANS», разработанный исполнителями на кафедре геофизики СГУ им. Н.Г. Чернышевского (2005 г.);

– программный комплекс «KOSKAD» (А.А. Никитин и А.В. Петров, МГТА им. Орджоникидзе, 2005 г.).

### Структура геофизических полей $\Delta g$ и $\Delta T$ и анализ их знаковых и пространственных соотношений по результатам ранее выполненных площадных съемок

Профиль «Уварово–Свободный» проходит по территории северо-западной части Саратовской области через Рязано-Саратовский прогиб и зону его сопряжения с Воронежской антеклизой. Рязано-Саратовский прогиб находит очень заметное отображение в магнитном поле: четко видны характерные для этого структурного элемента северо-западные простирания и осевая часть, видимо, отвечающая древнему Пачелмскому авлакогену, где значения  $\Delta T$  достигают местами 150 нТл, а возмущенность поля, оцениваемая величиной его стандарта (среднеквадратического отклонения) повышается до 5 нТл (рис. 1). Термин «авлакоген» (рифтогенный прогиб рифейского возраста) применительно к Пачелмскому прогибу был введен еще в 1955 году Н.С. Шатским.

В современном понимании [3] это узкая, линейно вытянутая на сотни километров рифтогенная система, состоящая из ступенчато погружающихся к осевому грабену блоков фундамента, ограниченная бортовыми разломами. Западный борт, осевая линия (зона рифта) и восточный борт авлакогена трассируются узкими линейно вытянутыми градиентными сгущениями изолиний, к двум первым из них в современном структурном плане примыкают Ртищевско-Баландинская (РБ)

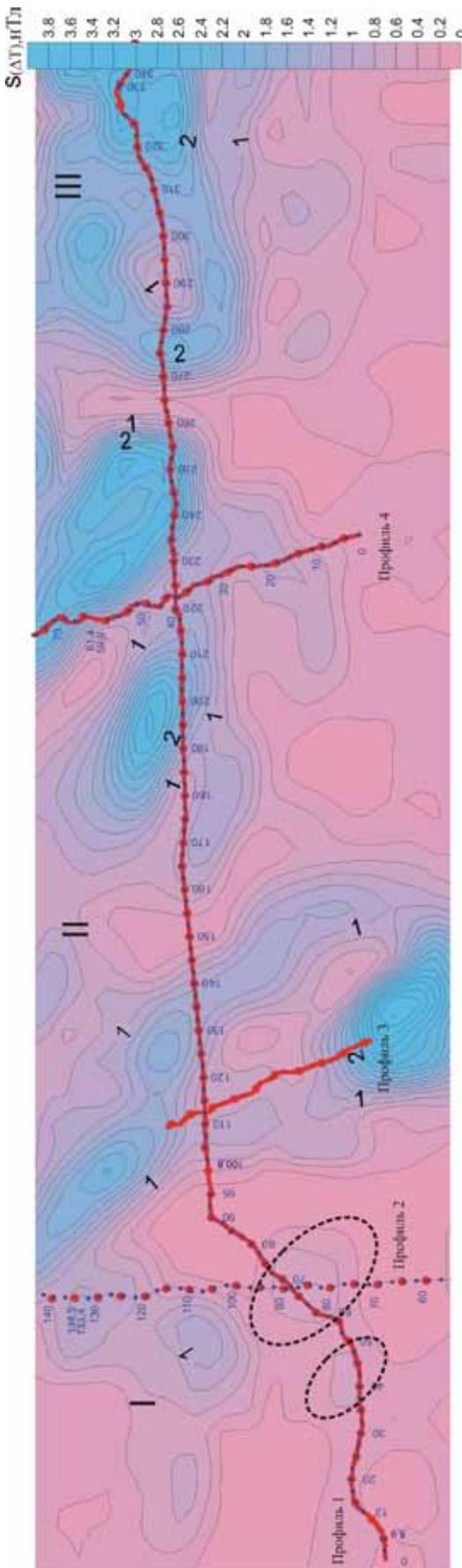


Рис. 1. Карта возмущенности (стандартного отклонения  $S$ ) поля  $\Delta T$

и Петровская (П) дислокации соответственно. С этими элементами сопрягаются зоны минимумов, где значения  $\Delta T$  уменьшаются до 60 нТл. Область пониженных значений  $\Delta T$  (от 60 до 75 нТл) к западу от борта отвечает согласно [3] восточным склонам Воронежской антеклизы. К востоку от осевой линии следует область максимумов, соотносимая в своей южной резко градиентной линейной оторочке с Базарно-Карабулакской (БК) дислокацией северо-восточного простирания; восточное окончание профиля находится в зоне высокоинтенсивной (~150 нТл) Неверкинской (Н) аномалии, отделенной от Карабулакской линейным минимумом того же Пачелмского простирания. Таким образом, по магнитному полю территория, где проходит профиль «Уварово–Свободный», традиционно районирована на 3 части: Западную (I) с относительно спокойным с пониженной напряженностью полем (Воронежская антеклиза), сложную центральную (II) с интенсивным сильно возмущенным полем в зоне, отвечающей Пачелмскому авлакогену, и восточную (III) с менее интенсивным полем.

Сходным образом районирована территория и по полю силы тяжести. Здесь выделяются те же области, но центральная часть отличается пониженными значениями  $\Delta g$  (на уровне первых единиц мГал, а к северу и к югу от линии профиля значения  $\Delta g$  становятся отрицательными). Иными словами, знаковое соответствие геопотенциальных полей в западной части прямое, а в центре инверсное. Однако по интенсивности наблюдается несколько иное соотношение: в области Воронежской антеклизы значения  $\Delta T$ , так же как и  $\Delta g$ , нарастают по мере движения с запада на восток. Это нарастание, хорошо видное по профильным кривым, идет до ПК 110 ( $\Delta g$ ) и 150 ( $\Delta T$ ). Далее по обоим полям характер изменчивости близок к пилообразному, а в региональном плане намечается протяженный, но слабоконтрастный минимум, причем и по кривой  $\Delta T$  (с ПК 200 до 280), и по кривой  $\Delta g$  (с ПК 140 до ПК 320) этот минимум вырисовывается в области еще более низкочастотного максимума. Далее на восток с ПК 300 значения  $\Delta g$  в целом нарастают, а по кривой  $\Delta T$  общий уровень поля сохраняется, как и пилообразный характер его изменчивости. Таким образом, в целом фиксируется картина, четко отображаемая на карте распределения значений коэффициента корреляции полей  $\Delta g$  и  $\Delta T$  (рис. 2).

Область I имеет знакопеременный характер, тогда как область II занята преимущественно участками положительной корреляции  $\Delta g$  и  $\Delta T$ , а восточный участок III – отрицательной.

Картина, выявляемая при анализе распределения коэффициентов корреляции, дополняется и уточняется по картам направленного суммирования геопотенциальных полей, предварительно отнормированных и тем самым лишенных размерности. С помощью направленного суммирования удастся провести оригинальные комплексные по-

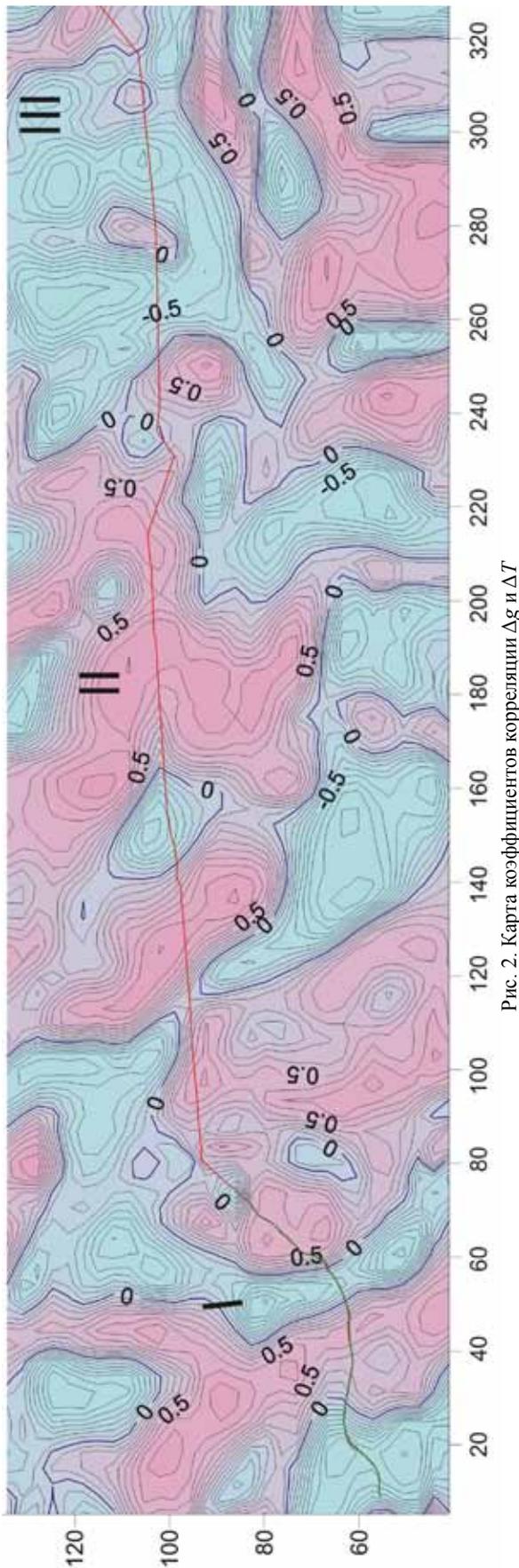


Рис. 2. Карта коэффициентов корреляции  $\Delta g$  и  $\Delta T$

строения, позволяющие лучше определить черты общности и различия в структуре этих полей, установить геологическую природу аномалий. Идея и технология таких построений разработаны на кафедре геофизики Саратовского университета, освещены в ряде публикаций [4 и др.]. Примером подобного построения может служить карта гравимагнитного комплексного параметра (КП) (карта «сходства»), представленная на рис. 3.

На первый взгляд, на этой карте отображаются те же пространственные закономерности соотношения обоих геопотенциальных полей: четкое разделение на области с разным характером  $\Delta g$  и  $\Delta T$  по всем признакам (знаку, интенсивности, изменчивости, ориентировке изолиний и пр.). Все это свидетельствует о единой (в региональном плане) геологической природе аномалий  $\Delta g$  и  $\Delta T$ , об их обусловленности общими геологическими источниками, которыми являются рельеф поверхности кристаллического фундамента и неоднородность его внутренней структуры. Наиболее вероятный вариант трактовки этой геологической природы состоит в следующем.

В области Воронежской антеклизы с изометричными очертаниями аномалий, где фундамент наиболее приподнят и сложен петрофизическим комплексом с общей низкой (ниже 1,25 А/м) намагниченностью пород и довольно значительной изменчивостью эффективной плотности. По мнению авторов [5], эти свойства комплекса аналогичны таковым для нижнепротерозойской Воронцовской серии, характерной для Воронцовской зоны Воронежского массива. Воронцовская серия сложена неравномерно метаморфизованными метатерригенными породами – различного рода сланцами и метапесчаниками (местами переходящими в гнейсы) часто в различном переслаивании, с прослоями metabазальтов и метаандезитов. Такая трактовка по [5] подтверждается данными бурения. В целом область распространения воронцовской серии характеризуется положительными магнитными аномалиями с уровнем 150–50 нТл (как это видно на картах  $\Delta T$ ) и занимает все пространство от южного борта Рязано-Саратовского прогиба вплоть до района г. Волгограда.

Однако более внимательное рассмотрение области I на карте (см. рис. 3) свидетельствует о том, что она неоднородна и разделяется в интервале пикетов (ПК) 40–60 на две части: западную и восточную, разграниченные градиентной зоной характерного Пачелмского простириания (с северо-запада на юго-восток). Восточная часть характеризуется более высокими значениями КП и наличием в ее пределах локальных максимумов округлой формы. Два таких максимума, отмеченные пунктирным контуром (см. рис. 3) фиксируются непосредственно на линии регионального профиля. Заметны эти объекты и на карте рис. 1. Какова их природа?

В работе [5, с. 59] указывается, что «в кровле фундамента местами обособляются объекты

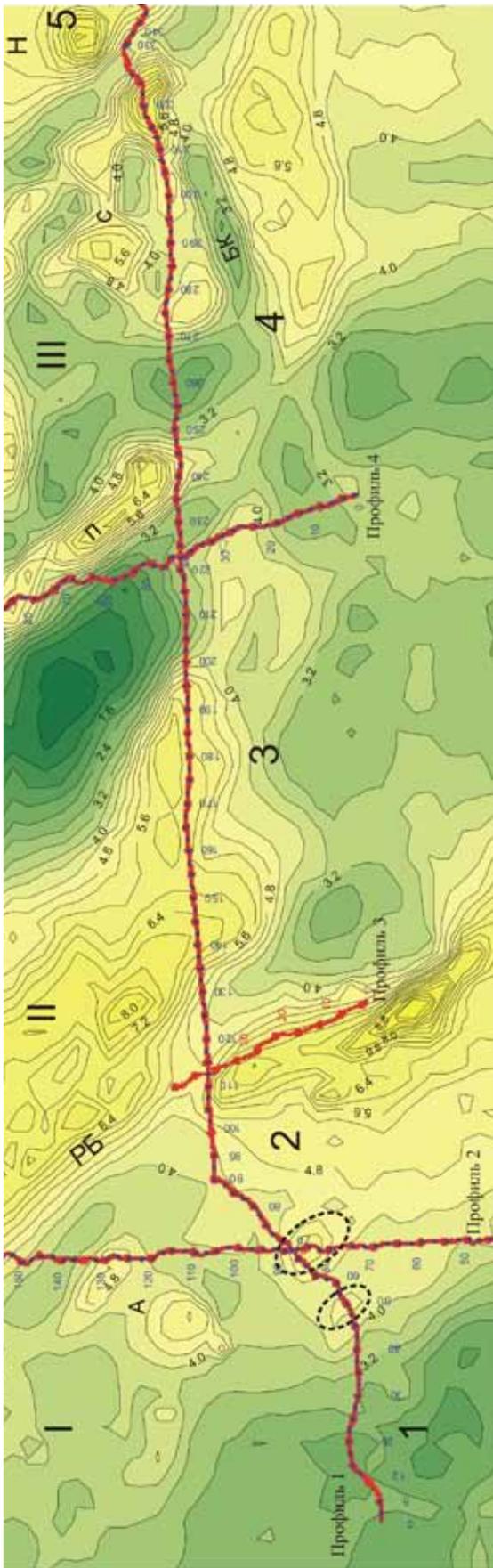


Рис. 3. Карта комплексного гравимагнитного параметра (КП) (карта «сходства»): — изолинии КП

округлой формы с поперечником около 20–30 км, сложенные породами относительно высокой (свыше  $2,73\text{--}2,74 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ) плотности и повышенной намагниченности». По-видимому, именно этим объектам (часто с концентрической внутренней структурой) отвечают упомянутые аномалии, обусловленные многофазными гипербазит-базитовыми плутонами еланского комплекса с рудоносными норит-диоритовыми телами, однако бурением такие тела не вскрыты [5].

Рассматриваемая восточная часть ассоциируется с Аркадакским (А) прогибом, который обычно относят к Воронежской антеклизе [3]. Однако существенно иная структура потенциальных полей, выявляемая по карте КП (общее увеличение значений комплексного параметра, преимущественно линейный рисунок поля, характерная северо-западная ориентировка изолиний, отмеченные проявления активной магматической деятельности – наличие плутонов), заставляет предположить, что восточнее пикета 40 происходит резкое погружение фундамента. Собственно здесь, по-видимому, и начинается Рязано-Саратовский прогиб. Весьма выразительно указанные различия проявляются и на трансформированных (пересчитанных на глубину 3000 м) кривых  $\Delta g$  и  $\Delta T$ , а также на разрезе соответствующих эффективных плотностей (рис. 4). Таким образом, Аркадакский прогиб следует включить в ареал Рязано-Саратовского прогиба и констатировать, что восточная граница Воронежской антеклизы проходит значительно западнее, чем предполагалось до проведения настоящих исследований (на прежних тектонических схемах эта граница проецировалась в районе ПК 120, т.е. на 80 км восточнее). Прояснить ситуацию может обращение к профилю 2, который пересекает основной региональный профиль «Уварово–Свободный» в районе ПК 70 и по представлениям, существовавшим до проведения настоящих работ, практически целиком расположен в пределах Воронежской антеклизы. Однако полученные комплексные геофизические данные показали, что в пределах профиля наблюдается (в сравнении с Воронежской антеклизой) синхронное однонаковое увеличение значений  $\Delta T$  и особенно  $\Delta g$ . Иными словами можно предположить, что этот профиль проходит по склоновой части Аркадакского прогиба, примыкающего к Воронежской антеклизе с востока. По карте КП этот профиль также тяготеет к «переходной» зоне от Воронежской антеклизы к Рязано-Саратовскому прогибу. Нельзя не отметить, что данный вывод полностью согласуется с мнением специалистов Нижне-Волжского НИИ геологии и геофизики (НВ НИИ ГГ), занимавшихся обработкой материалов сейсмо- и электроразведки.

Центральная область II отделена от Аркадакского прогиба (см. рис. 3) интенсивной зоной высоких градиентов КП (интервал ПК 110–130), отвечающих Баландинско-Ртищевскому грабену,

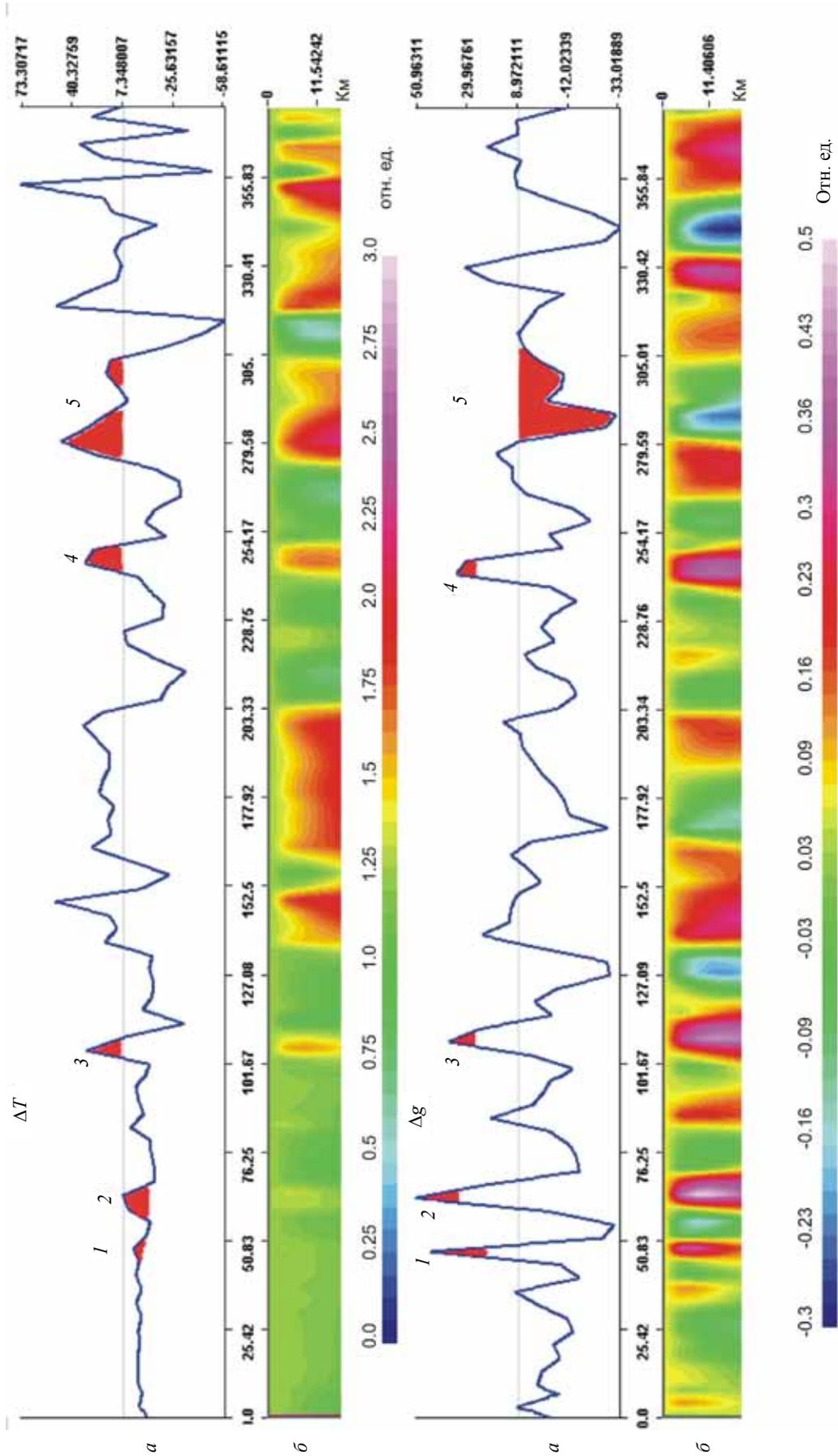


Рис. 4. Результаты решения обратной задачи грави- и магниторазведки по линии профиля «Уварово–Свободный»: а – кривые  $\Delta T$  и  $\Delta g$  на глубине 3000 м; б – разрезы эффективной намагниченности и плотности; цифрами обозначены выделенные аномалии (сочетания кривых  $\Delta T$  и  $\Delta g$ )



четко выраженному во всех геофизических полях. Подобная высокоинтенсивная зона на ПК 240–260 разделяет области II и III. Наконец, последняя полоса повышенных градиентов северо-западного простирания фиксируется на карте в интервале ПК 325–330 (см. рис. 3).

Петрофизический комплекс фундамента в областях II и III сложен по [5] средненамагниченными (от 1,3 до 2,5 А/м) образованиями со средней плотностью  $\sim 2,71\text{--}2,75 \cdot 10^3$ . Такие петрофизические особенности характерны для метаосадочных и метавулканических образований среднего состава. Еще далее к востоку уходя в пределы Прикаспийской впадины, распространен петрофизический комплекс, сложенный высоконамагниченными породами (2,5–3,8 А/м), отличающимися относительно невысокой плотностью ( $< 2,71 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ). Он по [5] представляет собой преимущественно метавулканические образования основного состава зеленокаменной фации метаморфизма.

Границы распространения этих комплексов – блоков фундамента имеют разрывной характер и контролируются глубинными разломами в виде упомянутых линейных градиентных зон на карте (см. рис. 3).

Обширный сегмент II, отвечающий области Рязано-Саратовского прогиба, как уже говорилось, отличается высоким уровнем значений КП, т.е. здесь (до ПК 200) наблюдается согласованное поведение геофизических полей. Область III отмечена относительно низкими величинами КП, т.е. слабым пространственным соответствием  $\Delta g$  и  $\Delta T$ . В целом вся восточная часть территории выглядит в рисунке поля КП весьма неоднородно: ей отвечает неустойчивая знакопеременная картина.

### Соотношение профильных кривых $\Delta g$ и $\Delta T$

Обратимся далее к анализу соотношения кривых  $\Delta g$  и  $\Delta T$  непосредственно по линии регионального профиля «Уварово–Свободный». Такой анализ целесообразно вести в сопоставлении с результатами преобразований геопотенциальных полей, осуществленных с целью локализации аномалий (объектов поиска).

В начальной части профиля наблюдается относительно малоизменчивое поведение кривой  $\Delta T$  и более вариативное, волнообразно-колебательное, кривой  $\Delta g$ . В целом в этой части регистрируется два упомянутых локальных максимума  $\Delta g$ : первый – с амплитудой до 5 мГал (на ПК 50) и второй с амплитудой более 5 мГал (на ПК 65). По кривой  $\Delta T$  лучше виден второй. Первый, хотя и слабо проявился в рельефе кривой, но хорошо заметен на карте  $\Delta T$ . Его эпицентр находится несколько севернее гравитационного, но совершенно очевидно, что эти экстремумы обусловлены одними и теми же источниками в обоих полях – упоминавшимся плутонами Еланского комплекса. Смещение магнитных аномалий отно-

сительно гравитационных обусловлено, очевидно, невертикальной намагниченностью этих тел. Локальные максимумы 1 и 2 особенно четко проявляются в трансформациях геопотенциальных полей: на графиках и картах остаточных аномалий (после осреднения и вычитания региональной низкочастотной компоненты поля) и на картах градиентов обоих полей. На картах градиентов Саксова–Нигарда с малыми радиусами осреднений (0,5–1 км) максимумы 1 и 2 фигурируют как самостоятельные, вполне обособленные аномалии, но с увеличением этих радиусов происходит их постепенное «сращивание» в единое тело-источник. Тем не менее на вертикальных картах плотностей и намагниченностей (рис. 4), полученных решением обратной задачи грави- и магниторазведки с использованием комплекса «KOS-KAD», такого объединения не отмечается: видно, что тела-источники существуют обособленно, это подтверждает правомерность трактовки их геологической природы как гипербазит-базитовых плутонов. На картах полных градиентов поля  $\Delta g$  наиболее интересным результатом, помимо локализации рассматриваемых аномалий, является трассировка разрывных нарушений в виде линейаментов различной протяженности.

От ПК 70 и далее на восток выдерживается более или менее синхронный характер нарастания значений  $\Delta g$  и  $\Delta T$ , которое прослеживается вплоть до ПК 110 км. Здесь же отмечается самая высокая точка – крупный максимум  $\Delta g$  и  $\Delta T$ . Судя по рисунку обоих полей, в этом месте фиксируется крупная неоднородность структуры фундамента, обособленность которой лучше всего выявляется в магнитном поле. В поле  $\Delta g$  и его производных подобная аномалия приобретает линейно вытянутую форму, что позволяет ассоциировать ее с мощной разломной зоной повышенной плотности, обусловленной, по всей вероятности, воздействием изверженных пород (диоритов и т.п.), образующих пластовые интрузии в теле фундамента или магнитоактивных метаморфических пород (возможно, магнетитовых и амфиболитовых сланцев упоминавшейся Воронцовской серии). Так полагает Б.А. Андреев [6], который отмечает, что в пределах Восточно-Европейской платформы такое соответствие непосредственно подтверждено результатами глубокого бурения и что аномалии, связанные с магматическими породами, приуроченными к разломам, встречаются в большинстве случаев значительно реже, чем аномалии, вызванные метаморфическими породами.

В интервале ПК 110–130, где в обоих полях фиксируется сопряженная минимаксная аномалия 3 (см. рис. 4), проявляет себя Ртищевско-Баландинская дислокация, которую можно соотнести с Западным бортом древнего Пачелмского авлакогена. Борт четко отмечается максимумом возмущенности  $S$  (см. рис. 1), узкой зоной знаковой инверсии  $\Delta g$  и  $\Delta T$  (см. рис. 2), интенсивными аномалиями градиентов и остаточных аномалий.



Все эти аномалии имеют характер разрывных линеаментов, что свидетельствует об очевидной дизъюнктивной природе упомянутого бортового сооружения.

С пикета 130 до ПК 150 прослеживается участок прямого соотношения  $\Delta g$  и  $\Delta T$ , за которым следует до ПК 200 область более или менее постоянного уровня кривой  $\Delta T$ . В поле  $\Delta g$  здесь фиксируется, как уже говорилось, область пониженных значений, а в поле  $\Delta T$ , напротив, прослеживается область повышенных значений. Судя по характеру распределения эффективных плотностей на рис. 4, этот интервал профиля пространственно отвечает Аткарскому палеовыступу фундамента. Палеовыступу в современном структурном плане соответствует инверсионная впадина, а следовательно, и разрастание толщин осадочных образований, в связи с чем частично понижается уровень значений поля  $\Delta g$ .

В районе ПК 245–250 отмечается интенсивный локальный максимум значений  $\Delta g$  и  $\Delta T$  (см. рис. 4, аномалия 4), по которому, очевидно, проходит осевая линия Рязано-Саратовского авлакогена – узкая рифтовая «щель» с характерными особенностями вертикально-блокового изменения геометрии границ и физических свойств пород по латерали (уплотнение и повышение намагниченности). На картах площадных трансформаций геопотенциальных полей эта узкая зона выражена четкими протяженными «разрывными» линеаментами. Локальный максимум осложняет конгруэнтную по обеим кривым широкую зону минимума (ПК 200–270). В современном структурном плане данная зона соответствует Чембарско-Петровскому грабену.

К востоку от указанного максимума по профилю «Уварово–Свободный» наблюдается плавный волнообразный характер изменчивости значений  $\Delta g$  при общей тенденции к возрастанию. Характер вариаций магнитного поля более изрезанный, причем в интервале ПК 270–310, т.е. уже в пределах ранее выделенной области III, наблюдается инверсный характер сочетания кривых  $\Delta g$  и  $\Delta T$  (см. рис. 4, аномалия 5). Характер инверсии полей  $\Delta g$  и  $\Delta T$  здесь весьма своеобразный и не часто встречающийся – максимуму  $\Delta T$  отвечает достаточно глубокий минимум  $\Delta g$ . Подобная картина наблюдается тогда, когда неоднородность – источник аномалий – сложена породами с небольшой плотностью и повышенной намагниченностью. Обычно такой феномен объясняют либо серпентинизацией кристаллических пород фундамента, либо внедрением в его толщу интрузий сиенитов. И серпентиниты, и сиениты характеризуются относительно невысокой плотностью (до  $2,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>) и значительными величинами  $\chi$ , превосходящими  $3000 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ. В данном случае следует отдать предпочтение сиенитовой трактовке обсуждаемого сочетания  $\Delta g$  и  $\Delta T$ , поскольку из близлежащих Гусихинских скважин

в интервале фундамента были подняты образцы керна с сиенитом.

Еще далее в интервале ПК 327–350 обращает на себя внимание наличие (на фоне минимаксного участка кривой  $\Delta g$ ) сопряженной области минимальных значений  $\Delta T$ . На картах геопотенциальных полей и их трансформаций здесь рисуется последняя из ранее упомянутых интенсивная линейная градиентная зона. Ее обычно идентифицируют с восточной границей (бортом) авлакогена, а весь рассмотренный участок от максимумов ПК 270–310 и до этой границы с Сосновской (С) депрессией в составе Рязано-Саратовского мегапрогиба. Однако по результатам анализа полученных данных сейсмо- и электроразведки специалисты НВ НИИ ГГ «отнесли» этот участок к Самарскому блоку Жигулевско-Пугачевского свода Волго-Уральской антеклизы, а самый последний фрагмент регионального профиля от ПК 330 до ПК 376 отождествили с локальным выступом фундамента на западном окончании Пугачевского свода Волго-Уральской антеклизы (возможно, Терешкинской вершиной). Выступ имеет свое четкое отображение в потенциальных полях, как исходных, так и трансформированных. Он прорисован на карте рис. 3 локальным максимумом КП изометричных очертаний у восточного среза карты, на карте рис. 1 максимумом возмущенности поля  $\Delta T$ , на карте рис. 2 «ярким пятном» плюсовых значений коэффициента корреляции  $\Delta g$  и  $\Delta T$  в отрицательном поле. Таким образом, и все эти особенности, и существенная изменчивость характера кривых и разрезов на рис. 4 не противоречат выводам сейсмо- и электроразведчиков [7].

Рассмотренное выше соотношение профильных кривых  $\Delta g$  и  $\Delta T$  дает основание выделить целый ряд аномалий с определенными знаковыми сочетаниями. Впервые такие сочетания были истолкованы Э.Э. Фотиади. Он рассмотрел четыре основных знаковых сочетания: два прямых (максимум  $\Delta g$  – максимум  $\Delta T$  и минимум  $\Delta g$  – минимум  $\Delta T$ ) и два инверсных (максимум  $\Delta g$  – минимум  $\Delta T$  и минимум  $\Delta g$  – максимум  $\Delta T$ ). Будем обозначать их соответственно «++», «--», «+-», «-+». Позднее появились работы, в которых рассмотрены и так называемые сложные сочетания (В.В. Семеркин, Н.Я. Кунин и др.). Причем, Н.Я. Кунин довел число сочетаний до 36. Для толкования геологической природы сочетаний этими авторами использованы разнообразные геологические источники, включая данные бурения. Учитывая характер задач, поставленных перед работами по региональному профилю, на рис. 4 цифрами обозначены очевидные простые сочетания, когда к единичному максимуму (минимуму) в рельефе одной кривой соответствует также единичный экстремум другой. Эти сочетания охарактеризованы в нижеприведенной таблице.

Геологическая природа некоторых знаковых сочетаний  $\Delta g$  и  $\Delta T$ 

Номер сочетания	ПК	Тип сочетания	Предполагаемая геологическая природа
1	ПК 50	++	Глубинный интрузив (плутон)
2	ПК 65-70	++	Глубинный интрузив (плутон)
3	ПК110–130	++	Ртищевско-Баландинская разломная зона
4	ПК245 – 250	++	Осевая линия авлакогена (рифтовой зоны)
5	ПК270 -310	-+	Сиенитовая интрузия

Природа сочетаний на ПК 50 и 65 уже неоднократно диагностировалась как глубинная, интрузивная (плутон). Малоамплитудные максимумы  $\Delta g$  и  $\Delta T$  в интервале ПК 70–90 не обнаруживаются на картах съемки 1 : 200 000. По кривым на вертикальных картах рис. 4 можно предположить, что вещество на уровне глубин 3000 м характеризуется существенно повышенной плотностью при незначительном увеличении намагниченности.

Аномалия, отмеченная цифрой 3 в составе сложного интервала (ПК 110–130), связывалась нами с Ртищевско-Баландинской разломной зоной (и интрузией в толще фундамента). Характерно, что к северу от линии профиля эта линейная аномалия почти не прослеживается в поле  $\Delta g$ , а в поле  $\Delta T$  приобретает «трассирующий» характер. По совокупности всех отмеченных особенностей, свойственных ей, можно предположить, что шовное сочленение отягощено интрузивными внедрениями в области, примыкающей к профилю с юга.

Далее следует не помеченное цифрами сложное сочетание рельефа кривых  $\Delta g$  и  $\Delta T$  (ПК 130–170). На первый взгляд рисунок кривых  $\Delta g$  и  $\Delta T$  здесь существенно различается (см. рис. 4). По  $\Delta T$  прежде всего видна сопряженная зона максимум – минимум, отороченная с обеих сторон небольшими максимумами. По  $\Delta g$ , наоборот, наиболее рельефно проступают краевые максимумы, а между ними можно разглядеть сильно редуцированную в области максимума зону сопряжения. На разрезе эквивалентных масс (см. рис. 4) сходство в указанной зоне более очевидно, хотя контрастность области минимума  $\Delta T$  заметно выше, чем по  $\Delta g$ . Характерно, что по  $\Delta g$  весь выделенный интервал на вертикальном разрезе рисуется как монолитный, но по  $\Delta T$  это часть «массива», простирающегося далее на восток до ПК 200. В протяженном интервале ПК 150–200 по глубинным кривым и разрезам (см. рис. 4) рисуется наличие масс сильно магнитных и с пониженной плотностью, а с ПК 185 и далее до ПК 200 повышается и плотность. Весь рассмотренный интервал соответствует упоминавшейся крупной инверсионной структуре: Аткарский выступ (горст по фундаменту) – Аткарская впадина (разрастание толщин легких, преимущественно терригенных напластований).

Совокупность рассмотренных данных выявляет сложную структуру Рязано-Саратовского прогиба, для уяснения которой потребуются осуществить физико-геологическое моделирование. Это позволит оценить возможность картирования здесь отдельных локальных объектов поиска нефтегазовых ловушек тектонической природы.

Еще одна зона сложного сочетания  $\Delta g$  и  $\Delta T$  – протяженный фрагмент профиля почти 70 км ширины, в пределах которого можно говорить о согласованном в целом поведении кривых  $\Delta g$  и  $\Delta T$ . В его центральной части в районе ПК 240–250 зарегистрировано простое прямое сочетание 4 (максимумы) кривых  $\Delta g$  и  $\Delta T$  на общем «синклинальном» фоне (см. рис. 4). Скорее всего, весь этот створ представляет собой субвертикальную зону деструкции (СЗД), трассирующую центральную осевую разлом (щелевидную зону, рифт) древнего Пачелмского авлакогена.

Далее (см. рис. 4 аномалия 5) очевидно, что инверсному сочетанию минимум-максимум на ПК 270–310 отвечает, как уже говорилось, область внедрения на уровне фундамента пород с относительно пониженной плотностью и сопротивлением, но с повышенной намагниченностью (сиенитов). В целом весь этот участок характеризуется существенно иным характером соответствия кривых  $\Delta g$  и  $\Delta T$ , нежели предыдущий. Здесь хорошего согласования информации полей  $\Delta g$  и  $\Delta T$  не просматривается, как на исходных кривых, так и на глубинных трансформациях (см. рис. 4).

Наконец, еще один выразительный и весьма своеобразный фрагмент из рассматриваемых сочетаний кривых  $\Delta g$  и  $\Delta T$  относится к интервалу ПК 320–376. В поле  $\Delta g$  это участок сопряжения плавного и пологого минимума и максимума интенсивностью более 5 мГал, в поле  $\Delta T$  такое сопряжение осложняет более глубокий минимум, приходящийся на ПК 344. На глубинных кривых рис. 4 западная часть этого интервала выражается в обоих полях минимумами, но далее к востоку от ПК 345 в гравитационном поле рисуется интенсивный максимум, а в  $\Delta T$  – максимум сложной пилообразной формы. По разрезам (см. рис. 4) здесь контактируют вертикальные тела низкой и высокой намагниченности (плотности). Два последних участка относятся к «зоне влияния» Пугачевского свода.



## Заключение

Таким образом, проведенные исследования позволили существенно скорректировать прежние представления о строении и характере сопряжения крупнейших элементов тектоники Восточно-Европейской платформы: Воронежской антеклизы, Рязано-Саратовского мегапрогиба и Жигулевско-Пугачевского свода. Удалось также уточнить местоположение составляющих их структурных элементов (Аркадакского прогиба, Аткарского выступа и т.д.) и выявить своеобразие тектонического облика каждого из них. В итоге можно по-новому районировать территорию, через которую проложен региональный профиль, выделив в ее составе уже не три, а пять различных по своему строению участков, обозначенных на карте рис. 3 арабскими цифрами, расположенными к югу от линии профиля: 1) Воронежскую антеклизу, 2) западную склоновую часть Рязано-Саратовского мегапрогиба (Аркадакский прогиб), 3) центральную осевую часть мегапрогиба (Пачелмский авлакоген), 4) Самарский блок Жиулевско-Пугачевского свода, 5) западное окончание (Терешкинская вершина) Пугачевского свода.

Такое районирование определяется в первую очередь наличием четырех резких градиентных (разломных) зон северо-западного простирания и различным характером сочетаний потенциальных полей в пределах выделенных участков [7]. В целом на рассмотренной части территории Рязано-Саратовского прогиба по гравимагнитным материалам подтверждаются представления о формировании к палеозою структуры, унаследованно развивавшейся по Пачелмскому авлакогену, однако границы прогиба не совпадают с границами авлакогена. В процессе формирования Рязано-Саратовского прогиба на границе палеозоя и мезозоя по геолого-геофизическим данным [3] происходит активизация тектонических движений со сменной их знака. Начинается формирование новых структурных элементов, заложение инверсионных структур. Так, над Ртищевско-Баландинском грабеном в нижнем структурном этаже развиваются Ртищевский и Баландинский валы, а над Аткарским выступом – Аткарская впадина. Возникают и новые контрастные структуры, такие как Чембарско-Петровский грабен (зона дислокаций в районе осевой линии авлакогена). Имеющийся опыт поисков и разведки нефтега-

зовых месторождений свидетельствует о наличии локальных структур (в частности, в области Аткарской и Сосновской впадин), но с низкими перспективами нефтегазоносности девонских отложений. Изучение ловушек в низах девона, судя по оценкам на Папановской, Глазуновской и других площадях, дало отрицательные результаты, равно как и оценка «молодых» структур преднеогенового формирования.

В плане лицензионной привлекательности можно выделить наименее изученные участки в центральной зоне Рязано-Саратовского прогиба (в области Ртищевско-Баландинских и Чембарско-Петровских дислокаций) и в пределах Самарского блока, где наблюдается наибольшая возмущенность геопотенциальных полей. Выполненные исследования свидетельствуют о несомненной полезности и необходимости проведения грави- и магнитометрических наблюдений при отработке региональных геофизических профилей.

## Библиографический список

1. Создание государственной сети опорных геофизических профилей. Основные положения Федеральной программы развития минерально-сырьевой базы РФ на 1994–2000 годы // Геофизический вестн. Октябрь 1994. С. 4–8.
2. Литилин А.В., Никитин А.А., Черемисина Е.Н. Проблемы комплексной интерпретации геофизических данных по региональным профилям и пути их решения // Геофизика. 2002. № 4. С. 3–6.
3. Шебалдин В.П. Тектоника Саратовской области. Саратов, 2008. 40 с.
4. Рыскин М.И., Лепилин В.М., Романов В.В. Геофизические основы тектонического районирования платформенных территорий // Геология нефти и газа. 1995. № 3. С. 15–20.
5. Буш В.А., Бабаянц П.С., Блох Ю.И. и др. Новые данные по глубинному строению Прикаспийского нефтегазоносного бассейна и южной окраине Русской плиты // Геологические и технологические предпосылки расширения ресурсов углеводородного сырья в европейской части России / Под ред. Д.Л. Федорова. М., 2006. С. 58–65.
6. Андреев Б.А. Геофизические методы в региональной и структурной геологии. М., 1967. 324 с.
7. Рыскин М.И., Волкова Е.Н., Сокулина К.Б. и др. Комплексная интерпретация геофизических данных в зоне сопряжения Воронежской антеклизы с Рязано-Саратовским прогибом // Геофизика. 2010. № 4. С. 31–40.



## PERSONALIA

### ЕЛИЗАВЕТА ВСЕВОЛОДОВНА МИРОНОВА (К девяностолетию со дня рождения)

Елизавета Всеволодовна Миронова родилась 20 сентября 1920 года в Тамбовской области. Ее детство прошло в Сосновском лесничестве. Отец, Всеволод Александрович Петэн, имел два высших образования и владел, кроме русского, украинским, немецким, английским и французским языками. Мама, Клавдия Васильевна Добрицкая, была из духовного сословия, окончила Институт благородных девиц.

Выпускница географического факультета Московского областного педагогического института (1941 г.) Е.В. Миронова в 50-е годы заведовала кафедрой экономической географии в Черновицком университете (ЧГУ). В этот период она проводила исследования Станиславского района, занималась историей её развития хозяйства и сельского населения Черновицкой области, кооперативной промышленности г. Черновцы, изучением сельского хозяйства Англии.

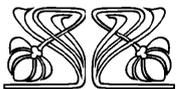
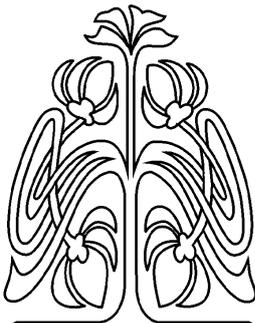
С 1959 года Елизавета Всеволодовна работала на географическом факультете Саратовского государственного университета, где возглавляла кафедру экономической географии вплоть до 1972 года.

Научные интересы Е.В. Мироновой были широки и многообразны. Основные направления ее научных исследований – вопросы мировой и отечественной географии, территориальные аспекты населения, трудовые ресурсы, социальная инфраструктура в сельской местности, проблемы анализа факторов размещения сельского хозяйства, его интенсивности, территориальной организации сельского хозяйства и основных этапов его развития, аграрные отношения в Великобритании.

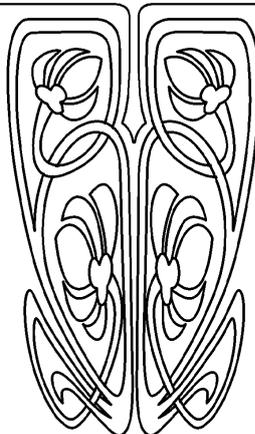
На протяжении ряда лет Елизавета Всеволодовна вела научно-исследовательскую работу в области географических проблем мирового хозяйства. В 1979 году в Ленинградском государственном университете ею была блестяще защищена, несмотря на 19 машинописных страниц отрицательного отзыва родной кафедры, докторская диссертация на тему «Аграрная география Англии и Уэльса». Защита проходила под председательством профессора С.Б. Лаврова. Научный интерес к географическим проблемам аграрной экономики капиталистической страны связан со стремлением на примере анализа взаимодействия природных, социально-исторических и экономических условий этого развития выявить фундаментальные связи универсальной системы «природа–общество–хозяйство», показать региональные аспекты рационального использования земли и охраны окружающей среды.

В работах Елизаветы Всеволодовны органически сочетались социально-экономический и природно-ресурсный аспекты комплексного анализа, показаны конкретные пути экономизации, гуманизации и экологизации географических исследований.

Елизавета Всеволодовна много внимания уделяла географии сельского хозяйства, населению и инфраструктуре сельской местности,



ПРИЛОЖЕНИЯ





прежде всего Поволжья, проводя совместные исследования с академическим институтом ИСЭП АПК АН СССР по этим проблемам. Многочисленные статьи и выступления Е.В. Мироновой на всесоюзных конференциях посвящены вопросам системного социально-экономического картографирования для целей планирования АПК, развития социальной инфраструктуры системы «город–село», исследования географических коллективов РСФСР и путей совершенствования их организации, влияния мелиоративного строительства на демографические процессы в Саратовской области, проблемам природоохранного районирования территории РСФСР.

Весомым был творческий вклад Елизаветы Всеволодовны в составление «Карты населения СССР на территории Саратовской, Волгоградской, Астраханской и Пензенской областей», опубликованной ГУГКом на 16 листах. Еще одним направлением ее научной деятельности было участие в работах с ЦЭНИИ Госплана СССР по исследованию городских поселений Саратовской и Волгоградской областей и с ИСЭП АПК РАН по «Социально-экономическим закономерностям развития регионального АПК (трудовые ресурсы, демографическая ситуация, социальная инфраструктура в областях Нижнего Поволжья)». В итоге – 90 научных публикаций (в том числе три монографии).

Елизавета Всеволодовна долгое время занимала должность ученого секретаря (1972–1982 гг.), затем председателя (1982–2001 гг.) Головного совета по географическим наукам Министерства общего и профессионального образования. Она возглавляла Саратовский отдел Русского географического общества (1982–1998 гг.), активно выступала с лекциями.

Русское географическое общество оценило ее работу на посту председателя Саратовского отдела, присвоив ей звание почетного члена РГО.

Также Елизавета Всеволодовна занималась вопросами работы кафедры экономической географии СГУ, выполняемой по договору с ЦЭНИИ Госплана РСФСР, в помощь планированию развития средних и малых городских поселений Саратовской и Волгоградской областей, мероприятиями по рационализации территориальной системы культурно-бытового обслуживания населения этих областей, организацией в Поволжье отдыха и туризма, приоритетными направлениями географических исследований в вузах России, освещала вопросы рационального природопользования в научных исследованиях географических подразделений России.

За свою многолетнюю деятельность она отмечена грамотами, наградами и званием заслуженного работника высшей школы Российской Федерации (Указ Президента РФ от 5 августа 2000 г. № 1425 «О награждении государственными наградами Российской Федерации»).

За свою жизнь Елизавета Всеволодовна общалась со многими советскими и русскими учеными, в том числе с такими, как В.А. Анучин, Ю.Г. Саушкин, С.Б. Лавров, Д.И. Шашко, П.Е. Харитонов и В.Г. Лебедев.

Она побывала в Китае, Индии, Египте, Турции, Германии, Франции, народно-демократических государствах Европы. Поработать приходилось в Москве, Ленинграде, Новосибирске, Иркутске, Томске, Якутске и во Владивостоке.

Е.В. Миронова – автор ряда методических пособий для студентов. Для молодежи она была добрым наставником, пользовавшимся заслуженным уважением. Будучи блестящим лектором, она внесла существенный вклад в подготовку научно-педагогических кадров и пропаганду географических знаний.

Елизавета Всеволодовна была настоящим русским интеллигентом. Она щедро делилась со студентами, аспирантами, коллегами и друзьями своими знаниями, теплом своей души, становясь от этого еще богаче. 22 ноября 2001 года Елизаветы Всеволодовны не стало. Сотни географов Саратова и других городов России и стран СНГ являются учениками Е.В. Мироновой, среди них немало кандидатов и докторов наук. Память о Елизавете Всеволодовне будет жить в ее учениках, в сердцах друзей и коллег.

**А.М. Демин**

#### **Основные публикации Елизаветы Всеволодовны Мироновой**

1. Аграрные отношения в Великобритании и их влияние на развитие и размещение сельского хозяйства. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1966. 86 с.
2. К вопросу об интенсивности сельского хозяйства Англии // Вопросы географии сельского хозяйства: Сб. ст. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1968. 86 с.
3. Анализ факторов размещения сельского хозяйства Восточной Англии // Вопросы географии сельского хозяйства: Сб. ст. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1968. 86 с.
4. О факторах размещения сельского хозяйства Англии // Географические исследования в Саратовском университете: Сб. ст. / Гл. ред. Ю.В. Пешехонов. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1968. 270 с.
5. Аграрная география Англии и Уэльса. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1976. 222 с.
6. Схема характеристики экономического района. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1970. С. 88 (в соавторстве).
7. Очерк экономического развития Черновицкой области. Львов: Изд-во Львов. ун-та, 1958. 80 с.
8. География в вузах России. СПб., 1994 (редакция, соавторство).
9. Modern tendencies of development of agriculture regions of England and Wales // International Geographical congress. М., 1976.



## А.Н. ЧУМАЧЕНКО – 50 ЛЕТ

24 октября 2010 г. декан географического факультета Алексей Николаевич Чумаченко отметил свое пятидесятилетие. Полвека жизни доктор географических наук, профессор А.Н. Чумаченко встречает полным жизненной энергии, в расцвете творческих сил.

Алексей Николаевич родился 24 октября 1960 года в с. Еленовка Перевальского района Ворошиловградской области (ныне Луганская область Украины) в семье водителя-«дальнобойщика». Детство и отрочество юбиляра прошло в Донбассе, среди терриконов и шахт горнопромышленного ландшафта, в которых местные мальчишки чувствовали себя полными хозяевами. Здесь первоначально закалился характер будущего ученого, выработались умение «держаться удар», настойчивость и целеустремленность в достижении поставленных целей.

В 1978 году А.Н. Чумаченко окончил среднюю школу в с. Комиссаровка и в романтическом порыве по комсомольской путевке местного райкома ВЛКСМ был командирован на всесоюзную ударную стройку «Шахты Донбасса». На стройке молодой энтузиаст-комсомолец несколько месяцев работал бетонщиком-арматурщиком. Осенью 1978 г. Алексей Николаевич был призван на срочную службу в Советскую Армию. Место службы – солнечный Тбилиси. Войсковая часть входила в состав Закавказского округа противовоздушной обороны. За два года воинской службы Чумаченко получил звание старшего сержанта, удостоверение специалиста 1-го класса и незабываемые впечатления о природе и людях Грузии, буднях армейской жизни.

В 1980 году произошел важный, а точнее, судьбоносный поворот в жизни юбиляра – он был зачислен на подготовительное отделение географического факультета МГУ. Алексей Николаевич стал одним из немногих слушателей отделения, которые после сдачи выпускных экзаменов, были зачислены на первый курс факультета. Чумаченко, прислушавшись к «внутреннему голосу», выбрал кафедру картографии, которую возглавлял в те годы выдающийся советский картограф профессор К.А. Салищев, один из первооткрывателей хребта Черского как единой горной системы. Салищев также был одним из первых, применивших метод аэрофотосъемки при составлении топографических карт. Напряженная учеба совпала у А.Н. Чумаченко со временем так называемого «застоя» и началом горбачевской перестройки.

Чумаченко, всегда занимавший активную жизненную позицию, стал членом КПСС, с отдачей работал в комитете комсомола МГУ. Со второго курса студент проявил интерес к научной работе, увлекся новым тогда направлением в картографии – геометрической коррекцией сканерных космических изображений, являющихся

основой для создания разнообразных тематических карт. В тот период шла бурная методологическая и техническая перестройка в картографии, стали использоваться данные космического зондирования, возникла цифровая картография, развивались методы автоматизированного картографирования. А.Н. Чумаченко, со свойственным ему энтузиазмом, полностью погрузился в новую сферу деятельности. После успешной защиты дипломной работы Алексей Николаевич получает диплом с отличием и как один из лучших выпускников кафедры поступает в очную аспирантуру по специальности «Картография». Научным руководителем Чумаченко стал известный специалист в области фотограмметрии, дешифрирования космоснимков проф. Б.А. Новаковский. Диссертация была написана за четыре года (лишний год обучения обусловлен общественной работой юбиляра – он руководил студенческим советом географического факультета МГУ). В 1990 году кандидатская диссертация «Автоматизированное создание карт природы по результатам интерпретации сканерных космических изображений» была окончательно подготовлена и успешно защищена на диссертационном совете в МГУ. В те годы данная тема носила «полусекретный» характер, ее защита прошла в соответствующем режиме. В годы учебы в аспирантуре Алексей Николаевич женился на жительнице Саратова Надежде Алексеевне, у них родилась дочь Мария. Молодая семья решила обосноваться в Саратове у родителей Надежды Алексеевны. Так новоиспеченный перспективный кандидат географических наук оказался в феврале 1991 года в Саратовском госуниверситете, сначала на кафедре физической географии в качестве доцента, а с 1996 года – на кафедре геоморфологии и геоэкологии, которую ныне и возглавляет. Так начался саратовский период жизни юбиляра.

С полным правом можно сказать: в Саратовском госуниверситете, на географическом факультете А.Н. Чумаченко состоялся как ученый и организатор. Вот вкратце наиболее интересные моменты его научной и административной биографии.

В 1995 году на географическом факультете по инициативе Алексея Николаевича создается учебно-научная межкафедральная лаборатория геоинформатики и тематического картографирования. А.Н. Чумаченко становится ее первым руководителем. Владение современными методами картографии и геоинформатики, устоявшиеся дружеские и деловые связи с ведущими географами МГУ, делают Чумаченко своеобразным «переносчиком» новейших технологий в области цифровой картографии и ГИС-технологий на саратовскую почву. Объединенная творческая работа с коллегами В.З. Макаровым и И.В. Пролеткиным



позволила Чумаченко уже в первой половине 90-х годов прошлого века сделать множество проектов в области градоэкологии, медицинской географии, природоохранного природопользования и передать их заказчикам. Во всех выполненных договорных, госбюджетных и грантовых работах главным методическим инструментом являлись ГИС-технологии. А главным специалистом по их внедрению в практику научной и учебной деятельности географического факультета СГУ был и остается А.Н. Чумаченко. И неудивительно. По неоднократным заявлениям сотрудников кафедры картографии и геоинформатики МГУ, Алексей Николаевич был одним из самых способных и толерантных студентов и аспирантов кафедры. Кафедра гордится Чумаченко – он один из немногих ее выпускников, ставший доктором наук за последние десятилетия. Здесь, в Саратове, А.Н. Чумаченко активно работал по многим научным программам, в частности в рамках известной программы «Экологический мониторинг г. Саратова», которая была первой и, к сожалению, последней экологической программой города. Многолетние комплексные исследования Саратова, объединенные общей ландшафтно-экологической идеей и ГИС-инструментарием, позволили накопить обширный и разнообразный фактический материал, объединить его в виде разнообразных электронных тематических карт и атласов, создать ряд специализированных геоинформационных систем, например «ГИС-электромагнитный риск». Поэтому в конце 90-х – начале 2000-х годов Саратов стал одним из наиболее изученных с геоэкологической точки зрения городов Российской Федерации, а экологические службы города получили множество тематических баз данных, позволяющих создавать разнообразные цифровые карты разных масштабов, 3D модели, цифровые модели рельефа. По градоэкологической тематике были опубликованы несколько монографий и десятки статей, выполнено более 20 хоздоговорных тем. Неудивительно, что в апреле 2001 года в МГУ А.Н. Чумаченко с блеском защитил докторскую диссертацию «Эколого-географическое картографирование городов» по специальности «Картография». Затем были разнообразные работы со множеством заказчиков и соисполнителей – медиками, дорожниками, представителями МВД, нефтяниками, газовиками, муниципалитетами ряда городов и административных районов Поволжских регионов. Везде А.Н. Чумаченко выступал душой коллектива лабораторий, приобрел

опыт работы с заказчиками и соисполнителями. Умение увидеть проблему, понять нужды заказчика быстро сделало Чумаченко одним из лидеров географического факультета. В 2001 году его избирают заведующим кафедрой геоморфологии и геоэкологии, а в 2003 году он организует новую, чрезвычайно востребованную практикой специальность на факультете – «Прикладная информатика в географии». Первый выпуск студентов по данной специальности состоялся в 2010 году. В 2003 году Чумаченко единогласно избран коллективом факультета на должность декана. В 2008 году он был переизбран на второй срок. Решающую роль сыграл Чумаченко при подготовке инновационных проектов от географического факультета, в рамках программ, выигранных СГУ: инновационного университета и национального исследовательского университета. В результате факультет многократно усилил свою учебную и научную базу. Были образованы новые лаборатории и кабинеты, создан научно-внедренческий образовательный центр геоинформационных технологий и создается центр приема и обработки данных спутниковой информации. В лабораториях установлено уникальное оборудование, приобретены новейшие компьютеры, программное обеспечение, специализированный автомобиль. Возможности для ведения учебной и научной работы многократно расширились. В наблюдающемся подъеме факультета главным его творческим и организационным началом выступает декан – профессор А.Н. Чумаченко.

А.Н. Чумаченко опубликовал более 100 научных работ, в том числе 8 монографий, 2 учебных пособия, географический атлас. Отметим некоторые монографии: «Эколого-географическое картографирование городов» – М.: Научный мир, 2002 (совместно с В.З. Макаровым и Б.А. Новаковским); «Национальный парк «Хвалынский»: ландшафтная характеристика и геоинформационная система» – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2006 (совместно с В.З. Макаровым, В.А. Савиным и В.А. Даниловым); «Прогноз климатической ресурсообеспеченности Восточно-Европейской равнины в условиях потепления XXI века» – М.: Макс-пресс, 2008 (совместно с А.В. Кисловым, В.М. Евстигнеевым и др).

Пожелаем А.Н. Чумаченко физических и интеллектуальных сил и дальше работать с такой же эффективностью и энтузиазмом.

**В.З. Макаров**