

Химия в неогеографической революции

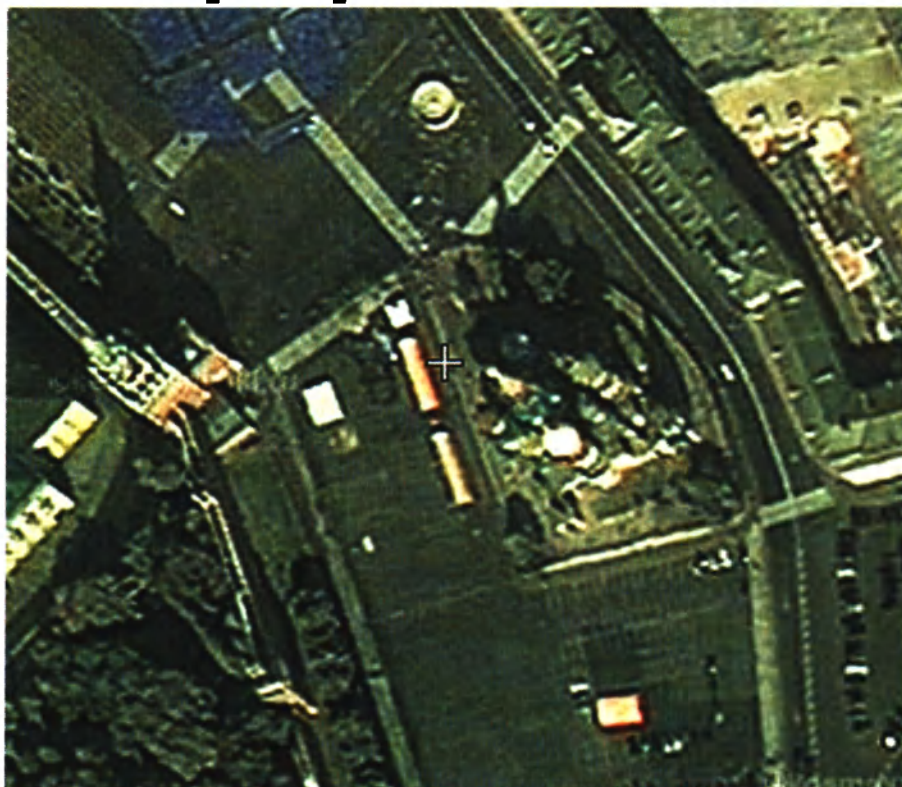
Кандидат химических наук
Д.М.Жилин,
учитель химии школы №192

*И внял я неба содроганье,
И горний ангелов полет,
И гад морских подводный ход,
И дольней лозы прозябанье.*

А.С. Пушкин

На наших глазах оживают географические карты. То, что еще недавно было застывшим изображением на бумаге, теперь становится обновляющейся картинкой на мониторе. Но это еще не все. Сегодня любой человек, имеющий выход в Интернет, может не только смотреть, но создавать и редактировать свои карты, наносить на них интересные объекты и даже давать ссылку на них. Более того, если раньше определить точные географические координаты своего местоположения мог только профессиональный геодезист, то теперь эта информация доступна любому, кто купил за шесть тысяч рублей приемник системы глобального позиционирования.

Мертвые листы географических карт стали живыми благодаря трем инструментам. Первый – система глобального позиционирования. Она состоит из спутников, положение которых в каждый момент времени точно известно, и неограниченного числа приемников, способных принимать сигналы спутников. В сигналах спутников закодировано точное время их отправки, и по задержке сигналов приемник определяет свои координаты. Сами же приемники может купить любой желающий (цены и габариты это позволяют). Сейчас в полной мере работает только одна система глобального позиционирования – американская GPS. Россия строит свою систему – ГЛОНАСС, но к ней, в отличие от GPS, до сих пор нет общедоступных приемников. Второй инструмент – гражданские спутники и спутники двойного назначения, фотографирующие поверхность Земли с разрешением от 30 до 0,7 метров на точку. И наконец, третий инструмент – открытые геоинформационные системы, предоставляющие всем желающим доступ в режиме онлайн к изображениям со спутников (рис. 1, 2). Это в первую оче-



1
Собор Василия Блаженного – вид из космоса. Снимок взят с сайта www.kosmosnimki.ru. На снимке видны автомобили, но не видны люди – разрешение около двух метров на точку



2
Снимок того же места, взятый с сайта www.earth.google.com. Разрешение чуть лучше

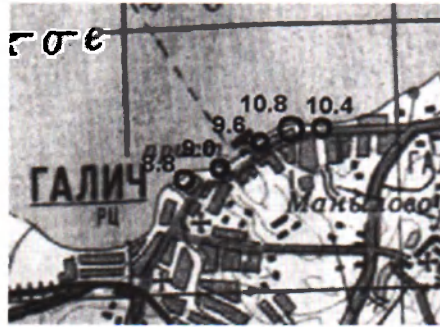
редь американская служба «Google – Планета Земля» (www.earth.google.com) и российская «Космоснимки» (www.kosmosnimki.ru).

Кроме того, существует платная программа OziExplorer (www.ozieplorer.com) и бесплатная GPS Track Maker (<http://www.gpstm.com>). Они позволяют привязывать любые изображения к географическим координатам и наносить на карты точки и маршруты непосредственно с GPS-приемников или из файлов в различных форматах. Эти программы удобны для работы с отсканированными картами и изображениями, полученными из «Google – Планета

Земля» или купленными на «Космоснимках».

Эти три инструмента произвели негеографическую революцию. Не слишком ли громко сказано? Все нет, поскольку теперь любой человек может быстро собирать и обрабатывать огромный массив географической информации, а также обмениваться ею с неограниченным числом пользователей. Изменения весьма серьезные.

Какое отношение может иметь химия к революции в географии? Самое прямое, если вспомнить о существовании геохимии – науки, изучающей химические процессы в окру-

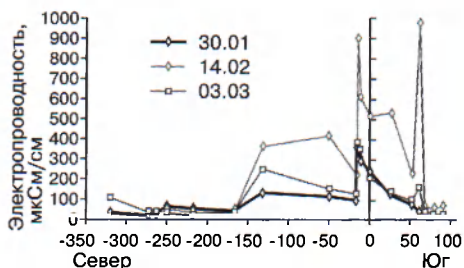


4
Измерения pH воды Галичского озера в черте городе Галич Костромской области (июль 2002 года)

жающей среде. До сих пор геохимия была еще мертвее, чем листы топографических карт. Только специалисты, причем сразу в нескольких областях науки, могли получить данные, привязать их к географической карте, интерпретировать и понять динамику химических процессов. Кроме того, сбор геохимических данных был крайне трудоемким, а это, естественно, резко ограничивало возможности исследований.

Чтобы «оживить» геохимические процессы, сделать их понятными для всех, нужно решить две проблемы: сбора геохимических данных и их географической привязки. Последнюю проблему решила неогеографическая революция. Как же обстоят дела со сбором информации?

Оказывается, эта задача тоже решается. В последнее время появились анализаторы, работающие по принципу «поместил в пробу – увидел результат». Во-первых, это сокращает время анализа до нескольких секунд, что позволяет собирать огромные массивы данных. Во-вторых, такой прибор не требует специальной подготовки, а значит, с ним может работать и школьник, и любитель. И хотя количество надежно определяемых параметров ограничено, но даже они позволяют увидеть и прочувствовать кое-какие геохимические процессы. Современные анализаторы вместе с приемником GPS можно подключать к переносному компьютеру или даже мобильному телефону и таким образом сразу делать географическую привязку результатов исследований.



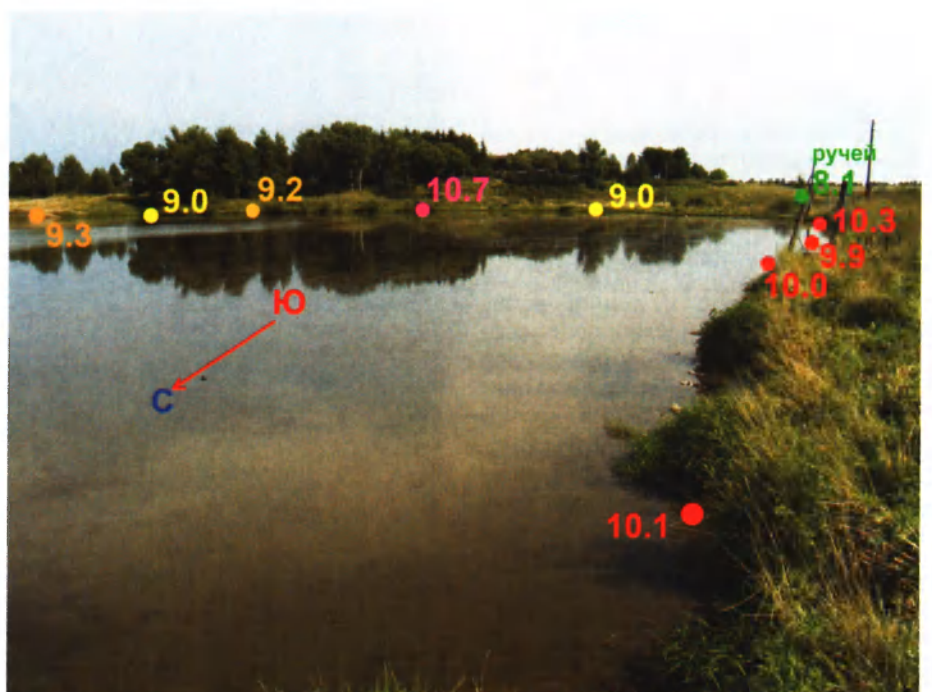
3
Расстояние от середины улицы
Электропроводность снега вокруг улицы Косыгина, (Москва)
См/м - это удельная электропроводность, соответствует $1/(0,01 \text{ м})$

Простейший пример – исследование засоленности снега вокруг улицы Косыгина в Москве, которое мы провели в 2006 году (рис. 3). В точках с определенными координатами мы собирали пробы снега, растапливали их и измеряли электропроводность полученной воды, которая напрямую связана с концентрацией солей в ней. Как мы и думали, засоленность снега падает с расстоянием от дороги. Но что оказалось неожиданным – характер кривых трижды воспроизвелся, хотя между измерениями проходило по две недели и погода не раз менялась. Еще выяснилось, что к югу, где улица загорожена домами, засоленность падает гораздо быстрее, чем к северу, где домов нет. То есть дома защищают снег от соли. В этом исследовании система GPS помогла нам трижды найти одни и те же точки отбора пробы и определить расстояние от улицы до них.

Картирование геохимических параметров позволяет не только оценить, как далеко распространяется загрязнение, но и выявить его источники. Так, в 2002 году мы измеряли pH воды вдоль берега Галичского озера (г. Галич). Вода у берега была сильно щелочной – pH доходил до 10,8 (рис. 4). Как потом оказалось, именно в этом месте находится обувная фабрика.

Однако, к сожалению, не всегда удается найти источник загрязнения таким методом. С проблемой мы встретились, изучая пруд в деревне Антопьево (Бабынинский район Калужской области) в июле 2007 года. У западного берега пруда (там, где расположена деревня) значение pH было выше, чем у восточного (рис. 5), и источник следовало бы искать там. Однако резкий скачок pH у юго-восточной части пруда спутал все карты,

5
Фотография пруда в деревне Антопьево с расставленными на ней значениями pH. К сожалению, инструментов для привязывания фотографий к координатам еще нет из-за больших перспективных искажений координатной сетки, поэтому точки выставлены приблизительно



и причина загрязнения так и осталась неизвестной.

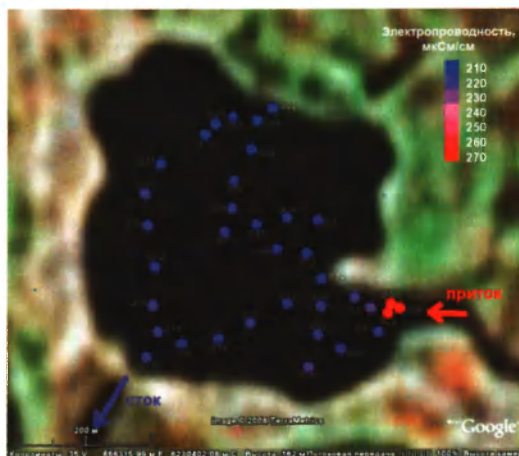
Бывает, что точная привязка к местности геохимических параметров необходима, чтобы избежать их неоправданно грубого усреднения. В июне 2004 года мы составили карту электропроводности небольшого переходного болота (так называют болота со специфическим водным режимом: вода в них с одной стороны втекает, с другой — вытекает) в Окском заповеднике. Точки, в которых измеряли электропроводность, находились через 10–20 метров друг от друга — беспрецедентная точность для «дореволюционного» времени. Оказалось, что электропроводность воды даже в соседних точках различалась в несколько раз, причем без всякой закономерности. Подобная же картина наблюдалась на болоте Сима у звенигородской биостанции в январе 2006 года и на Щучьем болоте около Сейдозера (Мурманская область) в июле 2008-го. Следовательно, можно говорить о том, что большой разброс минерализации воды — типичная картина для переходных болот. Учитывая, что от растворенных в болотной воде ионов (в первую очередь от гидрокарбонатов) зависит буферная емкость воды по отношению к загрязнениям, получается, что разные участки болот в разной степени страдают от одних и тех же воздействий. Такой разброс свойств обычно не принимают во внимание, а это неправильно.

Точное картирование помогает понять, какие химические процессы происходят в окружающей среде. Например, концентрация солей во многих озерах средней полосы России меньше, чем в их притоках. Это можно объяснить тем, что в стоячей воде озер из растворенных ионов кальция и гидрокарбоната образуется карбонат кальция, который выпадает в осадок:



Насколько быстро это происходит? Ответ дает точное картирование электропроводности озерной воды. Пример — карта электропроводности воды озера Глубошья (Псковская область), имеющего только один приток и один сток (рис. 6). Видно, что электропроводность падает на первых 100 метрах после впадения притока — там, где вода замедляет свой ход и неплохо прогревается. Во всех остальных местах электропроводность воды примерно одинакова.

Размеры озера Глубошья — примерно 800 х 600 метров, а все данные по электропроводности группа

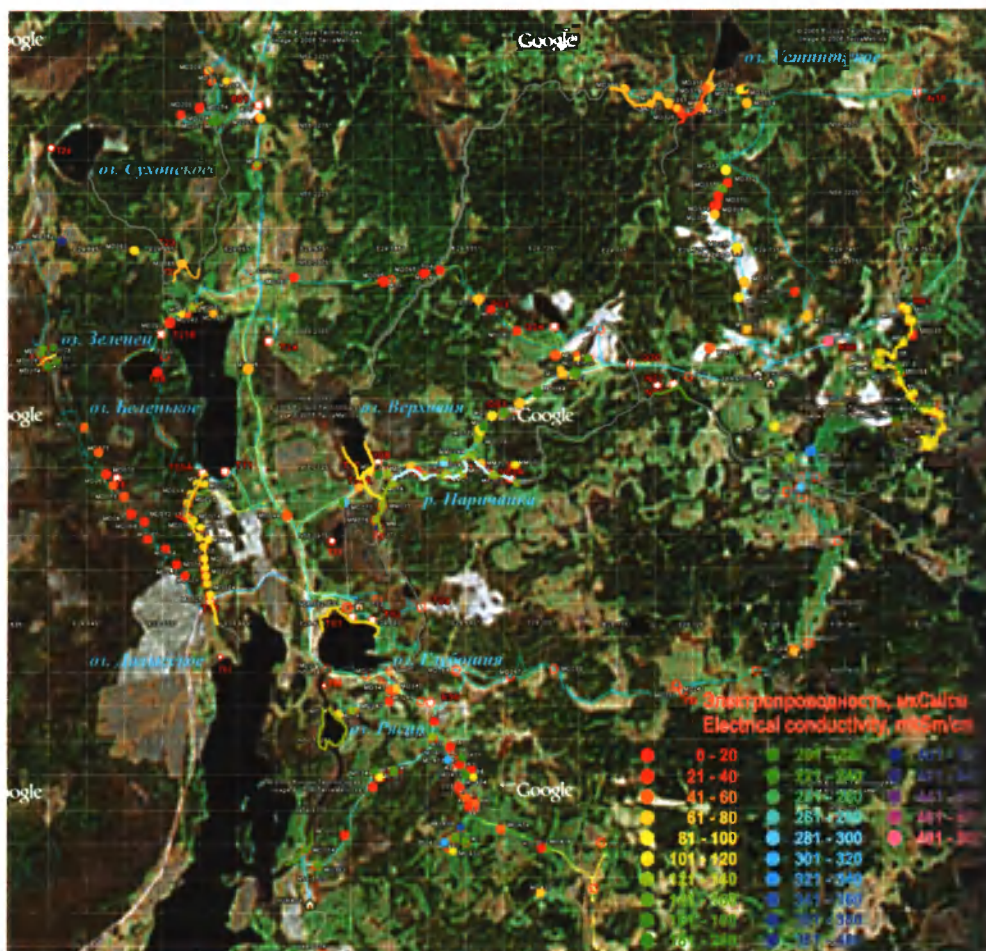


6
Электропроводность воды озера Глубошья Псковской области (5 июня 2008 года). Изображение получено с помощью службы «Google — Планета Земля», точки здесь и в остальных рисунках раскрашивались вручную при помощи графического редактора в соответствии со значением их электропроводности. Файл выложен по адресу <http://fenevo.narod.ru/0806/glouboshnja-elprov-cirk-leg.jpg>. 1 мкСм/см примерно соответствует 0,5 мг растворенных солей в 1 л

из двух человек получила примерно за два часа. Отсюда ясно, что за неделю 8–9 человек могут исследовать и привязать к карте довольно большие площади. Так, в июне 2006 года мы с учениками школы №192 составили подробную карту электропроводности вод Вязевской возвышенности (рис. 7). Данные поражали разнообразием: там есть абсолютно

пресное озеро Зеленец и болота с электропроводностью около 360 мкСм/см, что соответствует 180 мг солей в литре. (При этом, как и в предыдущих экспериментах с болотами, результаты в близко лежащих точках могли различаться в разы.) Уровень минерализации речек и ручьев тоже отличался в два-три раза. Только к западу от озера Беленького во-

7
Электропроводность вод Вязевской возвышенности (июнь 2006 года). Точками обозначены лужи и болота, линиями — ручьи и протоки. Изображение с нанесенными на него точками получено со службы «Google — Планета Земля». По адресу <http://fenevo.narod.ru/0606/elprov-map.htm> можно увидеть эту же карту с гиперссылками на фотографии некоторых точек





8
Электропроводность речек
и ручьев в бассейне реки
Перемеры Калужской области
(июль 2007 года).

Топографическая карта
привязана в программе
OziExplorer, в ней же на карту
нанесены точки отбора проб.
Цвета соответствуют рис. 7.



9
Электропроводность
водоемов северного
берега Сейдозера
(Кольский полуостров),
июль 2008 года.

Карта привязана
в программе GPS
TrackMaker, в ней же
на карту нанесены точки.
Болотам и лужам
соответствуют точки,
ручьям и протокам — линии

доемы имели примерно одинаковую минерализацию.

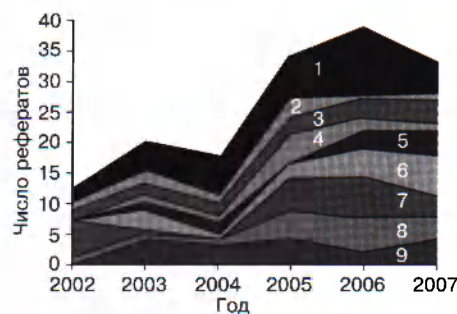
Совершенно иная картина, скажем, наблюдалась в бассейне реки Перемеры (Калужская область), где по нашим данным в июле 2007 года почти все речки и ручьи имели очень близкую минерализацию (рис. 8). Скорее всего, это связано с тем, что на Вязевской возвышенности самые разнообразие грунты залегают в сильном беспорядке. Бассейн же реки Перемеры сложен известняками, которые расположены под слоем глины. Ручьи в ней летом подпитываются в основном подземными водами, состав которых определяется их взаимодействием с однородными известковыми породами.

Вообще, взаимодействие природных вод с подстилающими породами можно четко проследить именно при помощи точного картирования. Пример тому — карта электропроводности вод северного берега Сейдозера (рис. 9). Ручьи, стекающие непосредственно со снежников, имеют гораздо меньшую электропроводность, чем ключи и маленькие ручьи, долго побывавшие между камнями. Из-

за того что берег озера сложен породами, которые с трудом подвергаются выщелачиванию, электропроводность воды во всем бассейне очень низкая. Интересно, что вода переходных болот, отмеченных на карте прямоугольниками 2 и 3, имеет более высокую электропроводность, чем вода ручьев и даже некоторых ключей (хотя разброс значений в них очень велик). Это может говорить либо о том, что болотная вода способствует выщелачиванию подстилающих пород, либо о том, что болота подстилаются породами, которые выщелачиваются легче. Еще одно интересное с гидрохимической точки зрения место отмечено на карте прямоугольником 1. У этого берега находится несколько мощных ключей. В спокойную погоду вода, видимо, не перемешивается, и ее электропроводность близка к электропроводности ключевой воды. После шторма ее электропроводность стала такой же, как у озера в целом.

Это всего лишь несколько примеров того, как влияет неогеографическая

революция на геохимические исследования. Конечно, они привлекут лишь тех, кто интересуется геохимией. Вместе с тем даже профессиональные геохимики пока практически не пользуются плодами неогеографической революции. Так, если судить по самому полному сборнику рефератов по химии «Chemical Abstracts», в последние годы число статей с упоминанием системы глобального позиционирования не превышало четырех десятков в год (рис. 10). Причем картирования химических данных никто не проводил.



10

Количество рефератов по химии,
в которых упоминается система
глобального позиционирования.

- 1 — картирование химических параметров окружающей среды;
- 2 — мониторинг мобильных источников выбросов;
- 3 — патенты на системы с GPS-измерителями;
- 4 — картирование распространения и состояния живых организмов;
- 5 — картирование и мониторинг геофизических параметров;
- 6 — использование в системах управления;
- 7 — использование сигнала GPS для исследования атмосферы и ионосферы;
- 8 — исследование и совершенствование самой системы GPS;
- 9 — использование инфраструктуры GPS

Получается, что условия созданы, но сама неогеохимическая революция не идет. Что же нужно, чтобы она произошла? Как и неогеографическая революция, она требует участия широких масс непрофессиональных пользователей. Они должны получить в руки доступные средства измерения и обработки геохимических па-



раметров. Что же это могут быть за параметры и зачем простым смертным этим заниматься?

В первую очередь можно говорить о параметрах качества воздуха в том или ином районе. Датчики загрязняющих веществ (углеводородов, оксида серы и азота и др.) доступны уже сейчас. Подключение их к переносному компьютеру или смартфону, который совмещен с GPS, и запуск измерений в автоматическом режиме – только вопрос техники. Ориентировочная стоимость подобной системы (не считая стоимости самого компьютера, который используется и для других целей) лежит в пределах 12 тысяч рублей. Такая система может заинтересовать, например, тех, кто подбирает себе жилье и озабочен качеством воздуха в нем. Если же ее установить на беспилотный летательный аппарат (стоимостью в 40 тысяч рублей), то она позволит охватить гораздо большие площади. Получается подспорье землепользователям вокруг промышленных центров.

Вторая обширная область применения негеохимического подхода – сельское хозяйство, и в первую очередь контроль качества почв. Однако тут возникает проблема: из всех важных параметров почвы пока что легко и надежно можно определить только ее влажность, менее надежно – pH и уже с некоторыми оговорками – засоленность. Недорогих и эффективных инструментов для определения таких важных параметров, как доступные питательные вещества (азот, фосфор, калий, микроэлементы), пока нет. Когда они появятся – негеохимическая революция захватит и сельское хозяйство.

Нельзя сбрасывать со счетов многочисленных любителей водоемов. Чтобы понять, стоит ли в водоеме купаться и ловить рыбу, имеет смысл измерить в нем по крайней мере концентрацию кислорода, нефтепродуктов, мочевины, а также pH. Из всего перечисленного дешево и надежно можно померить только pH. Современные электрохимические датчики кислорода с мембраной и щелочным

электролитом требуют квалифицированного обращения, а доступных анализаторов нефтепродуктов и мочевины вообще нет. Будут анализаторы – негеохимия распространится и в этом направлении.

И наконец, еще одна группа людей, которым негеохимическая революция может сослужить службу, – школьные учителя. Сейчас в школы активно внедряют так называемую проектную деятельность, причем идеи проектов учителям часто приходится высасывать из пальца. Включение в глобальный проект сбора данных доступных химических параметров воды или воздуха вполне может с толком занять неограниченное число школьников. Однако проникновению негеографической революции в школы препятствует Государственный образовательный стандарт по географии. Со времен Христофора Колумба в него добавлено скользкое упоминание «современных геоинформационных систем», однако совершенно непонятно, что с ними делать. Ключевых понятий геоинформатики в стандарте нет, как, впрочем, нет и компьютеров в кабинете географии. Поэтому даже в нашей продвинутой школе школьники знакомятся с негеографическими методами на уроках информатики, на факультативах по химии, но не на уроках географии. С другой стороны, то, что школьники недополучили в урочные часы, они получают в рамках проектной деятельности.

Отсутствие приборов для химического анализа – не единственный камень, который пока лежит на пути негеохимической революции. Еще один – это проблема визуализации данных. Данные мало получить, их нужно так представить, чтобы весь огромный массив воспринимался как единое целое. Некоторые способы визуализации мы использовали и в этой статье: двумерные графики (возможны и трехмерные), цифры на карте и раскрашенные точки. Кроме того, можно строить графики в виде сеток и изолиний, которые, однако, годятся только в том случае, если па-

раметры изменяются достаточно плавно. Но удобных инструментов для одного из этих средств до сих пор не было. Чтобы раскрасить карту, приходилось тратить несколько дней на весьма муторную работу.

Только недавно мой коллега В.Ильин создал интерфейс, позволяющий наносить точки, окрашенные в соответствии со значением параметра, непосредственно на карты Google Earth. Ознакомиться с ним можно по адресу <http://maps.s192.ru/>. В настоящий момент этот интерфейс дорабатывается, с тем чтобы сформировать «народный» проект по сбору геохимических данных, который окажется гораздо мощнее, чем отдельные исследования ученых. В конце концов, коль скоро люди свободно делятся своими фотографиями, что им помешает так же свободно обмениваться результатами своих, пусть даже непрофессиональных, исследований.

Возможно, такой проект может оказаться столь же значимым для геохимии (или, по крайней мере, гидрохимии и химии атмосферы), как проект «Геном человека» для биологии, причем доступ к результатам будут иметь все желающие. Пока что некоторые из них можно найти в Интернете по адресу www.fenevo.narod.ru.

Автор благодарит:

торговый дом «Школьный мир» за предоставленное оборудование;
Р.М.Жаркого, Окский государственный биосферный заповедник и Дирекцию ООПТ Мурманской области за предоставление баз и помощь в организации экспедиций;
управление образования ЮЗАО г. Москвы за финансирование экспедиций;
учащихся школы №192 за участие в сборе и обработке данных.

